

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS
DE BAIXA RENDA EXECUTADOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL: UMA
ANÁLISE DA RELAÇÃO DE CAUSA E EFEITO

Ilídio Francisco Alexandre

Porto Alegre
2008

ILÍDIO FRANCISCO ALEXANDRE

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS
DE BAIXA RENDA EXECUTADOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL: UMA
ANÁLISE DA RELAÇÃO DE CAUSA E EFEITO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre

Julho 2008

A381m Alexandre, Ilídio Francisco

Manifestações patológicas em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural : uma análise da relação de causa e efeito / Ilídio Francisco Alexandre. – 2008.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2008.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Torres Formoso, Profa. Dra. Ângela Borges Masuero

1. Habitação popular. 2. Patologia – Construção Civil. 3. Gestão da qualidade. 4. Análise de falhas. I. Formoso, Carlos Torres, orient. II. Masuero, Ângela Borges, orient. III. Título

CDU-69:658.56(043)

ILÍDIO FRANCISCO ALEXANDRE

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS
DE BAIXA RENDA EXECUTADOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL: UMA
ANÁLISE DA RELAÇÃO DE CAUSA E EFEITO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, julho de 2008.

Prof. Carlos Torres Formoso

Ph.D. pela Universidade de Salford

Orientador

Prof.a Ângela Borges Masuero

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora

Prof. Fernando Schnaid

Coordenador do PPGE/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Guilherme Aris Parsekian (UFSCar)

Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Andrea Parisi Kern (UNISINOS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jean Marie Désir (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal de Rio de Janeiro

À minha mãe Lili,
e aos meus filhos Luiz e Aline

AGREDECIMENTOS

Ao Prof. Carlos Torres Formoso, meu orientador, que acreditou em mim para o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo com valiosas sugestões e críticas.

À minha orientadora, Prof^a Ângela Borges Masuero por confiar no desenvolvimento desta pesquisa

Aos meus colegas do NORIE, em especial à minha turma de 2006: Guilherme Biesek, Camile Moura, Patrícia Tillman, Cecília Rocha, Juliana Cruz, Paulo Salvador, Fernando Félix e Caroline Kehl.

Ao meu colega Cristiano Richter, pela amizade, pelas críticas e sugestões e pela atenção a mim dispensada durante a elaboração desta pesquisa.

Aos professores do NORIE, em especial aos meus professores Prof. Eduardo Luis Isatto, Prof. Luís Carlos Bonin, Prof. Miguel A. Sattler e Prof^a. Denise Dal Molin.

Aos professores Ronaldo Bastos Duarte, José Luis Ribeiro, Everardo Antunes, Marcus Daniel dos Santos, Jean Marie Désir pelas valiosas contribuições ao longo deste trabalho.

Aos colegas estudantes de Cabo Verde em Porto Alegre, pela amizade e companheirismo.

Aos meus amigos que desde a primeira hora me incentivaram na minha decisão de trilhar esse caminho em especial ao Paulino Dias, João Almeida e Luis Jorge.

Aos meus irmãos que sempre me incentivaram com palavras de apoio, em especial ao Bava, Dinda e Tony.

Ao NORIE/PPGEC/UFRGS, pela a atenção a mim dispensada durante o processo da minha candidatura para fazer este curso e por me terem concedido essa oportunidade de adquirir conhecimentos

A CNPQ, por me ter concedido a bolsa para realizar esta pesquisa.

À minha mãe Lili e aos meus filhos Luiz e Aline, pelo sacrifício de eu ter de ausentar para a realização desse curso.

Aos meus professores da graduação na UFF, Prof. Vicente Custódio e Prof. Luiz Carlos Mendes, por acreditarem em mim e me terem recomendado ao curso de mestrado.

RESUMO

ALEXANDRE, I. F. Manifestações patológicas em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural: uma análise da relação de causa e efeito. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A alvenaria estrutural vem ganhando um grande impulso no Brasil ao longo das últimas décadas, sendo cada vez mais utilizada, principalmente em empreendimentos habitacionais de interesse social. No caso específico do Estado do Rio Grande do Sul, nos últimos dois anos, a maioria dos empreendimentos habitacionais de baixa renda foram executados com esse processo construtivo. Por exigência dos órgãos financiadores destes tipos de empreendimentos, as empresas construtoras dos mesmos devem ser possuidoras de certificação do seu sistema de gestão da qualidade. Entretanto, apesar desta certificação, tem-se observado a presença de manifestações patológicas, com predominância de fissuras, nos empreendimentos de baixa renda, por elas executadas. As causas das manifestações patológicas em empreendimentos construídos em alvenaria estrutural têm sido objeto de estudo de diversas pesquisas. Porém, não se fez até então um estudo das possíveis causas destas manifestações do ponto de vista multicausal, envolvendo as várias etapas do processo construtivo. Neste sentido, a presente pesquisa teve como objetivo principal analisar as relações de causa e efeito entre as fissuras dos empreendimentos construídos em alvenaria estrutural e as suas causas, utilizando-se de ferramentas de melhorias da qualidade que adotam uma visão multi-casual, muito utilizadas em outras indústrias. Para este estudo foram utilizados relatórios de monitoramento de execução de empreendimentos que pertencem aos modos de provisão habitacional do Programa de Arrendamento Residencial (PAR) e Imóvel na Planta (IP), no Estado do Rio Grande do Sul, ambos gerenciados pela Caixa Econômica Federal. A pesquisa consistiu em: (a) revisão bibliográfica; (b) levantamento e análise dos dados provenientes dos relatórios, identificando falhas, recomendações técnicas e boas práticas adotadas pelas empresas construtoras; (c) aplicação de um método de análise de relações de causa e efeito composto por ferramentas da qualidade; e (d) geração de mapas de relações de causa e efeito, recomendações para tratamento das principais causas e listagem de algumas boas práticas construtivas. Através desta pesquisa foi possível verificar as principais falhas ao longo do processo construtivo em vários níveis de análise e analisar as relações de causa e efeito entre eles e propor uma priorização de melhorias da qualidade. Com base nesta priorização foi sistematizado um conjunto de recomendações técnicas e de boas práticas que podem ser disseminadas entre as empresas construtoras tendo em vista a melhoria da qualidade dos empreendimentos em estudo.

Palavras-chave: Qualidade; Ferramentas da Qualidade; Análise de Falhas; Alvenaria Estrutural; Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda.

ABSTRACT

ALEXANDRE, I. F. Building pathologies in low cost housing projects with structural masonry: an analysis of the cause-effect relationship.

Structural masonry has had a substantial development in Brazil in the last few decades, becoming increasingly important, especially in social interest housing projects. In the specific case of Rio Grande do Sul, in the last two years, most low cost housing projects have been built using this construction process. Due to the demand of the funding organizations, the construction companies that build those projects must have a certified quality management system. However, despite this certification, a large number of building pathologies have been observed in those projects, especially cracks. In fact, the causes of building pathologies in structural masonry buildings have been the focus of several research studies. However, very little has been investigated on the causes of those pathologies from a multi-causal perspective, considering several stages of the construction process. The main objective of this research work is to analyze the cause-effect relationships between cracks in structural masonry buildings and their causes, using quality improvement tools that provide such multi-causal perspective, widely used in other industries. This study was based on quality monitoring reports of projects from two housing programs, the Residential Leasing Program (PAR) and the Blue-print Program (IP), in the State of Rio Grande do Sul. Both programs are managed by the National Savings Bank. The research study consisted of: (a) a literature review; (b) data collection and analysis using those reports, with the aim of identifying building failures, necessary improvements, and good practices adopted by construction companies; (c) application of a method for analyzing the cause-effect relationships which combined a set of quality tools; (d) development of cause-effect relationship maps, proposition of a set of improvements and a production of a list of good practices. Based on this study, it was possible to identify failures in the construction process, as well as to analyze the cause-effect relationships and propose some priorities in terms of improvements measures. Based on those priorities, a set of technical recommendations was established, as well as a list of good practices that should be disseminated among construction companies, in order to improve the quality of low-cost housing projects.

Keywords: Quality Tools; Failure Analysis; Structural Mansory; Low-cost Housing Projects

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 IMPORTÂNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL	15
1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
1.3 QUESTÕES DE PESQUISA	20
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA	20
1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	23
2.1 CONCEITO DE QUALIDADE	23
2.2 CONCEITOS DE CONTROLE E GARANTIA DA QUALIDADE	25
2.3 QUALIDADE NO SUBSETOR EDIFICAÇÕES	26
2.4 FERRAMENTAS DE MELHORIA DA QUALIDADE	30
2.4.1 Gráfico de Pareto	32
2.4.2 Diagrama de causa e efeito	33
2.4.3 Diagrama de afinidade	33
2.4.4 Diagrama de relações	34
2.4.5 FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Modos e Efeitos das Falhas)	35
2.4.5.1 Procedimento para a utilização da ferramenta	36
2.4.5.2 Formulário do FMEA e descrição dos campos	37
2.5 ANÁLISE DE FALHAS	40
2.5.1 Conceito de falha	40
2.5.2 Modos de falhas	42
2.5.3 Função de um item	43
2.5.4 Mecanismo de falhas de um item	44
2.5.5 Causa de falhas	44
2.5.6 Efeito de falhas	45
2.5.7 Relação entre causa de falha, modo de falha e efeito de falha	45
3 PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	46
3.1 COMPONENTES E ELEMENTOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS	46
3.1.1 Blocos estruturais	46
3.1.1.1 Especificações técnicas	46
3.1.1.2 Controle de recebimento dos blocos	47
3.1.1.3 Armazenamento dos blocos	47
3.1.2 Argamassa de assentamento	47
3.1.2.1 Especificação técnica	48
3.1.2.2 Controle de recebimento ou de aceitação	48
3.1.3 Graute de enchimento	48
3.1.3.1 Especificação técnica	48
3.1.3.2 Controle de recebimento ou de aceitação	49
3.1.3.3 Grauteamento	49
3.1.4 Parede de alvenaria estrutural	49
3.1.4.1 Recomendações técnicas de projeto	49
3.1.4.2 Recomendações técnicas de execução	50
3.1.5 Juntas de argamassa de assentamento	52
3.1.6 Juntas de controle ou de movimentação	52
3.1.7 Juntas de dilatação	54
3.1.8 Vergas e contravergas	54
3.1.9 Cinta de amarração	54
3.1.9.1 Recomendações técnicas de projeto	55

3.1.9.2 Recomendações técnicas de execução	55
3.1.10 Lajes.....	55
3.1.10.1 Recomendações técnicas de projetos	55
3.1.10.2 Recomendações técnicas de execução	56
3.2 PROJETO E EXECUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL – ALGUNS ASPECTOS GERENCIAIS.....	56
3.2.1 Projetos de alvenaria estrutural	56
3.2.1.1 Coordenação de projetos de alvenaria estrutural.....	57
3.2.1.2 Compatibilização de projetos de alvenaria estrutural.....	57
3.2.1.3 Projeto executivo.....	58
3.2.2 Execução de edifícios em alvenaria estrutural.....	58
3.2.2.1 Padronização de técnicas construtivas	59
3.2.2.2 Procedimentos construtivos.....	59
3.2.2.3 Controle de execução da parede de alvenaria estrutural	59
3.2.2.4 Mão-de-obra, ferramentas e equipamentos.....	60
3.3 FISSURAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL	61
3.4 OS MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE FISSURAS EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL E SUAS CONFIGURAÇÕES TÍPICAS	63
3.4.1 Recalque de fundações	63
3.4.2 Sobrecarga de carregamento de compressão.....	66
3.4.3 Variações de temperatura	69
3.4.4 Retração de blocos de concreto ou de outros elementos de concreto	73
3.4.5 Expansão por variação de umidade	75
3.4.6 Deformação de elementos da estrutura de concreto armado.....	78
4 MÉTODO DE PESQUISA	80
4.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA	80
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	81
4.3 ETAPA DE COMPREENSÃO	82
4.3.1 Análise de disponibilidade, coleta e análise de dados.....	82
4.3.2 Análise das ferramentas da qualidade.....	85
4.3.3 Proposta e aplicação piloto do método de análise	86
4.4 ETAPA DE ANÁLISE	88
4.4.1 Segunda coleta de dados	88
4.4.2 Análise dos dados coletados.....	89
4.4.3 Aplicação do método de análise de causa e efeito	90
4.5 ETAPA DE PROPOSIÇÕES	91
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO	92
5.1 AS PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PAREDES DOS EMPREENDIMENTOS DOS PROGRAMAS PAR E IP	92
5.2 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS FALHAS DETECTADAS EMPREENDIMENTOS.....	94
5.2.1 Blocos estruturais.....	94
5.2.2 Argamassa de assentamento	96
5.2.3 Pontos de graute.....	97
5.2.4 Paredes estruturais	99
5.2.5 Juntas de argamassa	100
5.2.6 Junta horizontal de movimentação da laje (junta deslizante)	102
5.2.7 Junta de dilatação	104
5.2.8 Verga e contraverga.....	105
5.2.9 Cinta de amarração.....	108
5.2.10 Quadro geral da frequência das falhas	110
5.3 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE PROPOSTO	113

5.3.1 Diagrama de causa e efeito	113
5.3.2 Mapa de relações de causa e efeito (diagramas de relações e afinidade).....	116
5.3.2.1 Fissura na direção horizontal	118
5.3.2.2 Fissura na direção vertical.....	120
5.3.2.3 Fissura inclinada	121
5.3.2.4 Considerações da aplicação do mapa de relações de causas e efeito	122
5.3.3 Aplicação do FMEA.....	122
5.3.3.1 Bloco estrutural	123
5.3.3.2 Argamassa de assentamento	124
5.3.3.3 Pontos de graute	125
5.3.3.4 Paredes estruturais	126
5.3.3.5 Junta de argamassa	127
5.3.3.6 Junta horizontal de movimentação	128
5.3.3.7 Junta de dilatação	129
5.3.3.8 Verga e contraverga	130
5.3.3.9 Cinta de amarração	131
5.3.3.10 Priorização das causas	132
5.4 AÇÕES GERENCIAIS E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....	138
5.4.1 Quadro resumo das melhorias gerenciais e recomendações técnicas	148
5.5 BOAS PRÁTICAS	151
5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	159
6.1 CONCLUSÕES	159
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	162
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de afinidades (Helman e Andery, 1995).....	32
Figura 2: Diagrama de afinidades (Dellaretti Filho, 1996).....	33
Figura 3: Diagrama de relações (Dellaretti Filho, 1996)	35
Figura 4: exemplo de um formulário FMEA (adaptado de Helman e Andery, 1995)	37
Figura 5: Critérios para definição dos índices de ocorrência, gravidade e detecção (baseado em Helman e Andery, 1995).....	39
Figura 6: diferença entre falha, erro e defeito (baseado em RAUSAND e OIEN, 1996).....	40
Figura 7: A curva da banheira (adaptado de LAFRAIA, 2001)	41
Figura 8: exemplificação de modos de falha no tempo de fechamento de uma válvula (adaptado de Rausand e Oien, 1996).....	42
Figura 9: exemplificação de modos de falha em juntas de argamassa	43
Figura 10: Relação entre causa de falha, modo de falha e efeito de falha (baseado em Márquez e Herguegas, 2004)	45
Figura 11: Dimensões máximas dos cortes admitidos em paredes estruturais (SABBATINI, 2003).....	50
Figura 12: exemplo de um detalhe de junta deslizante entre paredes e a laje de cobertura (TECHNE, 2005)	53
Figura 13: tolerâncias dimensionais (NBR 8798,1985).....	60
Figura 14: as diversas direções de fissuras em paredes de alvenaria (baseado em Grimm, 1988).....	62
Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações	64
Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações (continuação)	65
Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações (continuação)	66
Figura 16: configurações típicas de fissuras devido ao carregamento de compressão.....	67
Figura 16: configurações típicas de fissuras devido ao carregamento de compressão (continuação)	68
Figura 17: configurações típicas de fissuras devido à variação de temperatura	71
Figura 17: configurações típicas de fissuras devido à variação de temperatura (continuação).....	72
Figura 18: configurações típicas de fissuras devido à retração	74
Figura 18: configurações típicas de fissuras devido à retração (continuação)	75
Figura 19: configurações típicas de fissuras devido à expansão.....	76
Figura 19: configurações típicas de fissuras devido à expansão (continuação).....	77
Figura 20: configurações típicas de fissuras devido a deformação de elementos de concreto armado	79
Figura 21: Delineamento da pesquisa	81
Figura 22: planilha de levantamento de dados	83
Figura 23: as empresas construtoras, sua localização e nível de certificação	83
Figura 24: características dos empreendimentos diagnosticados por Richter (2007)	84
Figura 25: empreendimentos do estudo do Richter (2007) e suas características	85
Figura 26: seqüência de aplicação das ferramentas	86
Figura 27: mapa de causa e efeito	87
Figura 28: planilha de levantamento dos modos de falhas.....	88
Figura 29: empreendimentos monitorados pelos consultores e suas características.....	89
Figura 30: gráfico de Pareto das manifestações patológicas em oito empreendimentos	92
Figura 31: gráfico de Pareto das formas de fissuração diagnosticadas	93
Figura 32: falhas nos blocos estruturais	94
Figura 33: blocos armazenados sobre o solo	95
Figura 34: reforço de paredes com perfis metálicos.....	95
Figura 35: fissuras nas juntas de argamassa devidas à retração por secagem de blocos.....	96
Figura 36: falhas na argamassa de assentamento	96
Figura 37: tipos de falhas nos pontos de graute	97
Figura 38: problemas referentes a pontos de graute	98
Figura 39: problemas referentes à armadura.....	98
Figura 40: falhas nas paredes estruturais.....	99
Figura 41: rasgos nas paredes para a passagem de tubulações	99
Figura 42: amarração não recomendada para a alvenaria estrutural	100
Figura 43: os modos de falhas nas juntas de argamassa.....	100

Figura 44: juntas de argamassa de espessura variável.....	101
Figura 45: irregularidade no preenchimento vertical das juntas	102
Figura 46: descolamento do bloco da argamassa causada pela montagem de formas	102
Figura 47: falhas na junta deslizante	103
Figura 48: isopor colocado entre a laje e a alvenaria com a função de junta deslizante	103
Figura 49: manta para a junta de largura inferior à espessura da parede	104
Figura 50: falhas na junta de dilatação	104
Figura 51: problemas referentes a junta de dilatação.....	105
Figura 52: falhas nas vergas e contravergas	105
Figura 53: transpasse insuficiente para dentro das paredes	106
Figura 54: contraverga não concretada e com restos de argamassa no seu interior	107
Figura 56: problemas de fissuração de vergas e contravergas	108
Figura 57: tipos de falhas na cinta de amarração	108
Figura 58: espessura excessiva da camada de nivelamento da estrutura	109
Figura 59: diagrama de causa e efeito	113
Figura 60: mapa de inter-relações de causas para a fissura horizontal.....	118
Figura 62: mapa de inter-relações de causas e o efeito fissura inclinada	121
Figura 63: aplicação do FMEA para bloco estrutural	123
Figura 64: aplicação do FMEA para a argamassa de assentamento	124
Figura 65: aplicação do FMEA para os pontos de graute.....	125
Figura 66: aplicação do FMEA para as paredes estruturais	126
Figura 67: aplicação do FMEA para a junta de argamassa	127
Figura 68: aplicação do FMEA para a junta horizontal de movimentação da laje	128
Figura 69: aplicação do FMEA para a junta de dilatação	129
Figura 70: aplicação do FMEA para a verga e contraverga.....	130
Figura 71: aplicação do FMEA para a cinta de amarração.....	131
Figura 72: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura horizontal	132
Figura 73: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura vertical.....	133
Figura 74: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura inclinada.....	134
Figura 75: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras horizontais.....	136
Figura 76: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras inclinadas	136
Figura 77: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras verticais	137
Figura 78: ações de melhorias e recomendações para a junta deslizante	139
Figura 79: ações de melhorias e recomendações para os pontos de graute	140
Figura 80: ações de melhorias e recomendações para a junta de argamassa.....	141
Figura 81: ações de melhorias e recomendações para a cinta de amarração	142
Figura 82: ações de melhorias e recomendações para a parede estrutural	143
Figura 83: ações de melhorias e recomendações para a parede estrutural	144
Figura 84: ações de melhorias e recomendações para a verga e contraverga	145
Figura 85: ações de melhorias e recomendações para a junta de dilatação	146
Figura 86: ações de melhorias e recomendações para o bloco estrutural.....	146
Figura 87: ações de melhorias e recomendações para a argamassa de assentamento	147
Figura 88: quadro resume de ações de melhorias.....	148
Figura 89: itens de controle da qualidade dos projetos	149
Figura 90: itens de controle da qualidade da execução.....	149
Figura 90: itens de controle da qualidade da execução (continuação).....	150
Figura 91: itens de controle de materiais e equipamentos	150
Figura 92: lista de boas práticas de ordem gerenciais.....	151
Figura 93: boas práticas na execução das juntas	152
Figura 94: boas práticas na execução de vergas e contravergas.....	152
Figura 95: boas práticas na execução da junta deslizante	153
Figura 96: boas práticas na execução da cinta de amarração	153
Figura 97: boas práticas na execução do grauteamento	154
Figura 98: boas práticas na elevação das paredes de alvenaria.....	155
Figura 99: boas práticas, blocos estruturais	156

Figura 100: boas práticas, argamassa de assentamento	157
Figura 101: boas práticas na execução da junta de dilatação	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: tabela de frequência de ocorrência de falhas	110
Tabela 1: tabela de frequência de ocorrência de falhas (continuação)	111
Tabela 2: frequência de ocorrência de falhas por empresa construtora (E e V).....	112
Tabela 3: tabela comparativa de priorização de causas de falhas de fissura horizontal	135

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAIXA: Caixa Econômica Federal.

CDU: Coeficiente de Defeitos por Unidades

FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis*.

FTA: *Fault Tree Analysis*

GIDUR: Gerência de Desenvolvimento Urbano.

GPDAE: Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural

ISO: *International Organization for Standardization*.

IP: Imóvel na Planta

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação.

PAR: Programa de Arrendamento Residencial.

PBQP-H: Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do *Habitat*.

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

QUALIHAB: Programa da Qualidade da Construção Habitacional do Estado de São Paulo.

SiAC: Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras.

SINDUSCON-RS: Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Rio Grande do Sul.

SIQ-C: Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras

SiAC: Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UFSM: Universidade Federal de Santa Maria

1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo é apresentada a importância e a justificativa do tema de pesquisa, as questões e os objetivos da pesquisa e as delimitações da mesma.

1.1 IMPORTÂNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Em função do atraso da indústria da construção civil em relação a outros setores, existe a necessidade de desenvolver formas de melhorar a qualidade dos produtos e de processos (SANTOS, 2003). Para Franco (1992), deve-se buscar a utilização mais ampla de processos construtivos racionalizados que viabilizem não só a melhoria da qualidade, mas também o aumento da produtividade de forma a reduzir custos.

Entre os processos construtivos racionalizados, a alvenaria estrutural vem ganhando um grande impulso no Brasil ao longo das últimas décadas (RAMALHO; CORREA, 2003), sendo cada vez mais utilizada, principalmente em empreendimentos habitacionais voltados para baixa renda (CAVALHEIRO, 2006). Segundo Franco e Agoypan (1994) este crescimento deve-se ao fato que requer a aplicação de conceitos de racionalização e melhorias de processos, que resulta em uma melhoria da qualidade dos produtos.

A alvenaria estrutural é definida como um processo construtivo em que as paredes são elementos resistentes compostos por blocos, unidos por juntas de argamassa capazes de resistirem a outras cargas, além do seu peso próprio (PENTEADO, 2003; CAVALHEIRO, 2006). Ela pode ser protendida (CAMACHO, 2006), armada ou não armada, segundo a norma NBR 10837 (ABNT, 1989), e ser executada com blocos de concreto, cerâmico ou sílico-calcário. É também conceituada como um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras como estrutura suporte de edifícios e dimensionada a partir de um cálculo racional e de confiabilidade determinável (SABBATINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006).

Essa definição a diferencia do uso tradicional da alvenaria como estrutura portante, na qual a construção e o dimensionamento são feitos de forma intuitiva. Na alvenaria estrutural o dimensionamento é feito através de cálculo estrutural com fundamentação técnico-científico e com base na normalização (SABBATTINI, 2003; FRANCO, 1992; CAVALHEIRO, 2006). São vários os exemplos¹ no Brasil de edifícios construídos com alvenaria portante, de forma empírica, sem respaldo normativo, utilizando materiais inadequados, inadequações técnicas graves, com níveis de segurança perigosos (SABBATTINI, 2003; SIGNOR, 2005).

¹ Sabbatini (2003) e Signor (2005) citam como exemplo a região metropolitana de Recife, no Estado de Pernambuco

Em função do impulso ganho nos últimos anos no Brasil, é possível encontrar construções em alvenaria estrutural em quase toda a extensão do seu território (NASCIMENTO NETO; CORRÊA; RAMALHO, 2006). Segundo os mesmos autores, em algumas regiões já é possível encontrar empreendimentos de alto padrão assim como edifícios com mais de 15 pavimentos executados por esse processo construtivo. O aperfeiçoamento dos métodos de cálculo, ao longo dos anos, tornou possível desenvolver edifícios de diversos padrões e estruturas cada vez mais altas (MAMEDE, 2001).

A alvenaria estrutural apresenta também a vantagem de desempenhar várias funções ao mesmo tempo ao contrário de estruturas convencionais de concreto armado incluindo funções estrutural, de divisórias de espaços, de isolante térmico e acústico e, ainda, de proteção contra o fogo e em relação às intempéries (HENDRY, 2001; SINHA, 2002).

Além disso, a alvenaria estrutural tem outras vantagens quando comparada com o processo construtivo convencional em concreto armado, decorrentes da necessidade de racionalização: a pouca utilização de armadura, revestimentos menos espessos, eliminação da necessidade de fazer rasgos para a passagem de tubulações, menor geração de entulho, mais segurança aos operários, utilização de mão-de-obra menos diversificada, redução do número de etapas (execução são simultânea), não requer grandes quantidades de andaime, entre outros (CAVALHEIRO 2006; ALMEIDA, 2002; RAMALHO; CORREA, 2003; PENTEADO, 2003; ROMAN *et al.*, 1999).

A racionalização construtiva, que é possibilitada na alvenaria estrutural (FRANCO, 1992), permite diminuir os custos e desperdícios da construção, aumentar a produtividade, melhorar o desempenho e diminuir a ocorrência de manifestações patológicas (PENTEADO, 2003).

Em relação ao projeto Hendry (2001) e Sinha (2002) apresentam algumas vantagens da alvenaria estrutural em comparação aos demais processos construtivos:

- Simplicidade no detalhamento – os detalhes de arquitetura e estruturais e o *layout* são simples devido ao arranjo repetitivo dos pavimentos;
- Relativa liberdade de expressão da arquitetura – do ponto de vista de arquitetura existe uma certa flexibilidade de projetos de fachada porque as paredes internas encarregam-se de suportar as cargas verticais e da ação do vento;
- Fundações – a transmissão de cargas das paredes às fundações é de forma distribuída em vez de concentradas, eliminando, em alguns casos a necessidade de fundações especiais. Entretanto, essa vantagem é perdida no caso de haver áreas abertas no pavimento térreo;
- Versatilidade de textura e forma – há uma possibilidade de uma ampla escolha de cor, textura e forma dos blocos; e

- Colapso progressivo – com devidos cuidados e projeto apropriado, as chances de colapso progressivo podem ser reduzidas.

Entretanto, são apontadas algumas desvantagens desse processo construtivo (CORRÊA; RAMALHO, 2003; CAMACHO, 2006), tais como: limitações do projeto arquitetônico pela concepção estrutural, que não permite a construção de obras arrojadas; impossibilidade de adaptação da arquitetura para um novo uso; e necessidade de mão-de-obra muito qualificada.

Também o processo construtivo de alvenaria estrutural racional permite a adoção dos princípios da coordenação modular². A coordenação modular é adotada no processo como instrumento para organizar de forma harmônica as dimensões dos componentes da alvenaria que são produzidos como unidades independentes (MAMEDE; CORRÊA, 2006). De acordo com os referidos autores, a coordenação modular traz algumas vantagens ao processo construtivo em alvenaria estrutural: a simplificação da elaboração do projeto; a normalização dos componentes de construção; a padronização das dimensões com a redução do número de formato dos componentes da construção; a diminuição de problemas de interface entre componentes e subsistemas; a padronização dos detalhes e precisão dimensional; a racionalização e simplificação na execução da obra com a facilidade da montagem; e a redução de quebras dos materiais e, conseqüentemente, a redução de perdas.

A diminuição dos custos de construção representa um grande ganho econômico ao sub-setor edificações. Para isso, a alvenaria estrutural parece ser uma alternativa adequada para o Brasil, pois segundo Franco (1992) e Pasquali (2007), além de possuir elevado potencial de racionalização, não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a aquisição de equipamentos.

A economia conseguida com esse processo quando comparado com outras formas de construir, como sistema convencional de concreto armado, pode ser considerável. Duarte (1999) observa que a alvenaria estrutural pode proporcionar uma economia de até 30% dos custos da obra para a grande maioria dos tipos de edificações. Sinha (2002) realça que a economia conseguida com esse processo chega a mais de 10% na Europa, e no caso específico do Reino Unido essa economia chega a 38%, se for considerada somente a estrutura da edificação.

Além dessas vantagens econômicas, tendo em conta os custos iniciais mais baixos, cabe ressaltar que as edificações em alvenaria estrutural estão entre as construções com maior aceitação (DUARTE, 1999), durabilidade ao longo tempo (DUARTE, 1999; HENDRY, 2001) e que não exigem altos custos de manutenção (HENDRY, 2001).

² A coordenação modular consiste no ajuste de todas as dimensões da obra, horizontais e verticais, como múltiplo da dimensão básica da unidade, cujo objetivo principal é evitar cortes e desperdícios na fase de execução (CAMACHO, 2006). A NBR 5706 (ABNT, 1982), define coordenação modular como “a técnica que permite relacionar as medidas de projeto por meio de um reticulado espacial modular de referência”.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A construção civil, além do desafio de produzir edifícios mais econômicos, tem a missão de reduzir o *déficit* habitacional no Brasil em milhões de moradias³ que atinge principalmente as classes menos favorecidas (PICCHI; AGOPYAN, 1993). De acordo Klein e Lima (2004), a falta de moradia para as classes de menor poder aquisitivo é uma questão mundial e o desafio para a sua solução é muito grande, necessitando-se da criação de programas habitacionais de sucesso, adotando tecnologias apropriadas para a execução de moradias de baixo custo, e desenvolvendo sistemas construtivos inovadores.

Na tentativa de cobrir ou diminuir esse déficit habitacional o governo brasileiro já lançou vários programas habitacionais, entre os quais os programas PAR⁴ e IP⁵, promovidos pela Caixa Econômica Federal (CAIXA). Na construção das unidades habitacionais atendidas por estes programas tem-se adotado, com muita frequência, como solução construtiva a alvenaria estrutural racional. Segundo técnicos da GIDUR-RS (Gerência de Desenvolvimento Urbano do Rio Grande do Sul) de Porto Alegre da CAIXA, todos os empreendimentos do tipo PAR e IP, executados no estado do Rio Grande do Sul, nos últimos dois anos utilizaram o processo construtivo em alvenaria estrutural.

A partir de uma compreensão dos benefícios e limitações deste processo construtivo passou-se a adotar diversos parâmetros racionais de análise e decisão na fase de projeto e de execução da obra, resultando em uma tendência de aumentar o número de construções em alvenaria estrutural no país (OLIVEIRA, 2001).

Contudo, apesar de evoluções técnicas de projeto e de execução de obras em alvenaria estrutural (OLIVEIRA, 2001), as manifestações patológicas nas edificações persistem. O estudo recente de Richter (2007) no estado do Rio Grande do Sul em empreendimentos dos programas PAR e IP, executados em alvenaria estrutural, confirma esse fato. No referido estudo foram diagnosticadas diversas manifestações patológicas em várias das unidades habitacionais, tendo constatado maior predominância da presença de fissuras e de manchas devido a umidade. Além de fissuras e manchas por umidade, existem outros tipos de sintomas de manifestações patológicas nas edificações, entre os quais: degradação superficial, corrosão, descolamentos, eflorescências, deformações e desagregação (THOMAZ, 1990).

³ Segundo a Fundação João Pinheiro (2007), o *déficit* habitacional no Brasil, em 2005, foi estimado em 7,903 milhões de novas moradias

⁴ Programa de Arrendamento Residencial (**PAR**). De acordo com a CAIXA (2008), esse programa é destinado para o atendimento das necessidades de moradia da população de baixa renda, prioritariamente concentradas nos grandes centros urbanos, com renda familiar mensal de até seis salários mínimos, sob a forma de arrendamento residencial, com opção de compra ao final do prazo contratado.

⁵ O Programa Imóvel na Planta (**IP**). Esse programa segundo a CAIXA (2006) é oferecido para obtenção de financiamento para construção de moradias a pessoas jurídicas (cooperativas habitacionais) com renda mensal de até 20 salários mínimos.

Dos sintomas, a fissuração é provavelmente a forma de manifestação patológica mais freqüente nas construções de alvenaria (GRIMM, 1988). Muitas vezes as fissuras não estão relacionadas com danos estruturais, mas acabam por prejudicar a estética, o conforto do usuário e a estanqueidade da construção (HOLANDA JÚNIOR, 2002).

Além de ser freqüente nas construções, este é o sintoma que mais incomoda na construção civil, causando preocupações aos usuários e desacreditando a empresa construtora (DUARTE, 1998). Aos usuários, de acordo com Duarte (1998), as fissuras causam preocupação, por serem leigos, temendo pela própria segurança e pela estabilidade da edificação. Segundo Ioppi e Arruda (1994), a fissuração preocupa o usuário em três aspectos: o aviso de um eventual estado de perigo; o comprometimento da durabilidade ou estanqueidade da edificação; o constrangimento psicológico a que são submetidos os ocupantes da edificação por terem que conviver com as anomalias.

Com relação às empresas construtoras, além dessas preocupações, pesa também a crescente exigência por parte dos usuários, em relação à qualidade e desempenho das construções, expressas nos direitos dos consumidores (PENTEADO, 2003). Outro fator importante no contexto atual, segundo Santos (2003), é que as empresas têm sido afetadas por uma concorrência cada vez mais acirrada, e que vem reduzindo as margens de lucro, ao mesmo tempo que requer a necessidade de oferecer um produto economicamente mais acessível e que satisfaça às necessidades dos clientes.

Como consequência, segundo Duarte (1999), os prédios modernos tendem a ser econômicos e utilizam paredes mais finas, utilizando novos materiais e técnicas construtivas em substituição ao sistema tradicional de construção, tornando mais freqüente as fissuras nas edificações.

Visando a contribuir para a melhoria da qualidade das edificações executadas em alvenaria estrutural, estudos sistemáticos das causas de manifestações patológicas, suas formas, localização, tamanho, bem como formas de prevenir as suas ocorrências, têm sido desenvolvidos ao longo dos anos. Dentre estes trabalhos, mais voltadas aos problemas de fissuração, pode-se destacar as contribuições dos seguintes autores: Sahlin (1974), Grimm (1988), Basso *et al.* (1997), Duarte (1998), Thomaz (1990), Barbosa (2005), Magalhães (2006), Richter (2007).

Muitos destes trabalhos citados e outros da bibliografia pesquisada atribuem as causas dessas manifestações patológicas a problemas únicos relacionados às fases de projeto execução, materiais, uso ou manutenção, como por exemplo, os estudos de mais recentes de Fiess *et al.* (2004), e Richter *et al.* (2006) feitos em empreendimentos habitacionais de baixa renda. Já Hendry (2001) comenta que as manifestações patológicas podem ser causadas por uma combinação de falhas no projeto, execução e serviços relacionados. A pesquisa de Richter (2007) também evidenciou isso, na medida em que estabeleceu relações de causa e efeito entre as técnicas construtivas empregadas nas obras e as principais manifestações patológicas identificadas. Nessa análise, constatou-se que, para um determinado efeito, existem várias causas associadas a ele, ou seja, a origem de uma manifestação patológica pode estar relacionada a várias causas de falhas, incluindo tanto

problemas de projeto como de execução. Entretanto, o referido autor não faz uma análise aprofundada das falhas em alvenaria estrutural do ponto de vista multicausal.

Com base nas constatações acima descritas, no presente estudo propõe-se fazer um estudo das relações de causa e efeito das manifestações patológicas em empreendimentos executados em alvenaria estrutural, numa perspectiva multicausal, utilizando ferramentas de melhoria da qualidade, muito utilizadas em outras indústrias. Dentre as ferramentas, foram selecionadas e utilizadas para o estudo as que tinham potencialidades para ajudar a responder as questões de pesquisa estabelecendo as relações de causa e efeito. Para tanto, foram então utilizadas as seguintes ferramentas: diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, diagrama de relações, diagrama de afinidade e o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis ou Análise dos Modos e Efeitos das Falhas). Segundo Spengler *et al.* (1999), essas ferramentas permitem identificar problemas, buscar as possíveis soluções para esses problemas e implementar as soluções encontradas.

1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Tendo em conta os problemas observados no processo de produção de alvenaria estrutural e a lacuna de conhecimento surge a questão:

- Como identificar as relações de causa e efeito no estudo das manifestações patológicas da alvenaria estrutural em empreendimentos habitacionais de baixa renda?

A partir da questão principal, foram formuladas as seguintes questões específicas:

- Como categorizar as principais formas de manifestações patológicas nos empreendimentos em estudo?
- Quais as ferramentas de melhoria da qualidade mais apropriadas na identificação das relações de causa e efeito?
- Como identificar e priorizar as principais causas das manifestações patológicas nos empreendimentos?
- De que maneira tais ferramentas podem contribuir para a melhoria da qualidade do processo construtivo de alvenaria estrutural dos empreendimentos?

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Tendo em conta aos problemas identificados e as questões a eles relacionadas o objetivo principal da pesquisa consiste em:

- Propor um método de análise da relação de causa e efeito entre as manifestações patológicas nos empreendimentos construídos em alvenaria estrutural e as suas causas, visando à melhoria da qualidade.

Além do objetivo principal da pesquisa foram definidos os seguintes objetivos secundários:

- Analisar as principais falhas no processo construtivo em alvenaria nos empreendimentos habitacionais de baixa renda que podem levar a manifestações patológicas.
- Identificar os papéis das diferentes ferramentas e técnicas de melhoria da qualidade na análise de falhas no processo construtivo em alvenaria estrutural e as suas causas.
- Sistematizar um conjunto de recomendações técnicas de melhoria do processo construtivo dos empreendimentos habitacionais de baixa renda construídos em alvenaria estrutural a partir das principais causas de falhas identificadas.

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O foco dessa pesquisa será a análise de causas de falhas que levam ao aparecimento de manifestações patológicas nas paredes de edifícios construídos com alvenaria estrutural. Os edifícios em estudo são empreendimentos habitacionais de baixa renda dos tipos PAR e IP, executados no Estado do Rio Grande do Sul, normalmente caracterizado por edifícios de 4 a 5 pavimentos ou por bloco de sobrados.

São consideradas no estudo somente as paredes de alvenaria estrutural racionalizada, executadas com blocos estruturais cerâmicos e de concreto com juntas de argamassa. Também não são incluídas no estudo manifestações patológicas em estruturas de concreto, como as lajes, vigas de fundação, estacas e no revestimento. Não é objeto de estudo também a tecnologia de fabricação dos materiais, testes laboratoriais, a análise estrutural, limitando-se a alguns tópicos quando necessários.

É de realçar também que a pesquisa foi feita a partir de dados secundários, de relatórios de acompanhamento das obras dos empreendimentos em estudo, durante a fase de execução. Realça-se que também não houve uma sistemática para selecionar os relatórios a serem ou não utilizados, tendo em conta ao tipo de empreendimento, sua localização, idade e o tipo de bloco utilizado. Todos os relatórios disponibilizados foram analisados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução composto pela importância do tema de pesquisa, a justificativa, as questões e objetivos da pesquisa, delimitações do trabalho

além desta apresentação da estrutura do trabalho. Nos capítulos dois e três é apresentada uma revisão bibliográfica de assuntos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. O capítulo dois se refere ao estudo da qualidade, abrangendo conceitos sobre esse tema, as ferramentas de melhoria da qualidade e conceitos de análise de falhas. O terceiro capítulo está voltado para o processo construtivo em alvenaria estrutural, as funções dos seus elementos e componentes, recomendações técnicas e gerenciais e as manifestações patológicas. O capítulo quatro apresenta o método de pesquisa adotado e o no capítulo cinco são apresentados os resultados obtidos e a discussão dos mesmos. No sexto capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

No presente capítulo são abordados alguns conceitos relativos à gestão da qualidade, assim como é apresentada uma discussão sobre evolução da qualidade na construção civil. São também discutidas algumas ferramentas de melhoria da qualidade e conceitos básicos de análise de falhas. Quanto as ferramentas da qualidade foi dado ênfase ao FMEA e nos diagramas de Pareto, de causa e efeito, de afinidade e de relações por serem as ferramentas escolhidas para compor o método de análise proposto.

2.1 CONCEITO DE QUALIDADE

Qualidade é um conceito dinâmico, por se basear em referenciais que mudam ao longo do tempo (PALADINI, 2000), tendo recebido várias definições ao longo dos anos: Crosby (1979) definiu qualidade como conformidade com os requisitos, Juran e Gryna (1991) a definiu como adequação ao uso e Deming (1990) afirmou que qualidade vai ao encontro de as necessidades dos clientes. Campos (1992) reforça que ter qualidade significa atender perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo as necessidades dos clientes. Dentre as muitas definições, Juran e Gryna (1991) consideram duas de grande importância para o termo qualidade: características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes proporcionando a sua satisfação, e a qualidade como ausência de falhas.

Segundo Garvin (1992) qualidade é um conceito difícil de ser entendido e afirma que podem existir em uma mesma empresa diferentes interpretações do termo, podendo estas serem conflitantes. Paladini (2000) acrescenta que a dificuldade em definir qualidade de forma correta por parte das empresas pode levar à realização de ações inadequadas na gestão da qualidade. Reis e Melhado (1998) salientam que a qualidade é uma função sistêmica, isto é basta que um dos setores da empresa não funcione bem para que a qualidade da organização como um todo fique comprometida.

De acordo com Spengler *et al.* (1999) para uma definição mais abrangente da qualidade devem ser consideradas diversas perspectivas tais como a dos clientes, da produção, do produto e da tecnologia. Relacionada à essa visão abrangente, Garvin (1992) identificou cinco abordagens para definir qualidade:

- Transcendente: excelência inata, acima das mudanças de gosto e estilo;
- Baseado no produto: qualidade como uma variável precisa e mensurável;
- Baseado no usuário: a qualidade está diante dos olhos de quem observa, ligada às suas preferências e satisfação;
- Baseado na produção: ligado à conformidade das especificações de projeto; e

- Baseada no valor: qualidade definida em termos de custo e preço.

Garvin (1992) salienta que quase todas as definições de qualidade se enquadram em uma dessas abordagens, sendo que estas ajudam a explicar as visões muitas vezes conflitantes da qualidade dos diferentes setores. Segundo o mesmo autor, o setor de marketing tende a seguir uma visão de qualidade baseada no usuário ou no produto, enquanto a área de engenharia foca-se na qualidade baseada nas especificações, e a equipe de produção por sua vez, normalmente segue a visão baseada na conformidade com as especificações. Juran e Gryna (1991) sugeriram três passos principais para gerenciar a qualidade:

- a) Planejamento da qualidade: envolve todas as etapas de elaboração de projeto, isto é, a atividade de desenvolvimento de produtos considerando as necessidades do cliente;
- b) Controle da qualidade: consiste na comparação e avaliação do processo e do produto pelos grupos operacionais para atingir os objetivos da organização; e
- c) Aperfeiçoamento da qualidade: consiste em melhorar o nível de desempenho do produto.

Obata e Souza (2001) apontam que o estudo da qualidade do produto, para qualquer setor, exige, primeiramente, o entendimento de suas principais especificidades, entendidas como as razões que fazem com que a caracterização de qualidade do produto se altere para cada meio ou setor produtivo. Garvin (1987) salienta que a qualidade é um conceito multidimensional devendo ser dividida em partes gerenciáveis. Partindo dessa visão, o autor propôs oito dimensões ou categorias de qualidade apresentadas a seguir:

- Desempenho: relacionado às características operacionais básicas de um produto;
- Características: são os adereços dos produtos, ou seja, as características secundárias que suplementam o funcionamento básico do produto;
- Confiabilidade: reflete a probabilidade de um mau funcionamento de um produto ou de o mesmo falhar num determinado período;
- Conformidade: é o grau em que o projeto e as características operacionais de um produto estão de acordo com padrões pré-estabelecidos;
- Durabilidade: é uma medida da vida útil de um produto ou o uso proporcionado por um produto até se deteriorar fisicamente;
- Atendimento: relacionado à rapidez, cortesia e facilidade de reparo;
- Estética: ligada às preferências individuais, a estética reflete a aparência do produto; e
- Qualidade percebida: relacionada à reputação ou à imagem do produto.

Cada uma dessas dimensões é estanque e distinta, uma vez que um produto ou serviço pode ser bem cotado em uma dimensão, mas mal classificado em outra (GARVIN, 1992). Cada uma das cinco abordagens da qualidade apresentadas por Garvin (1992) está ligada a uma dimensão diferente da qualidade. A abordagem

baseada no produto está relacionada às dimensões de desempenho, características e durabilidade; a abordagem baseada no usuário está ligada às dimensões de estética e qualidade percebida; enquanto que a abordagem baseada na produção está relacionada com as dimensões de conformidade e confiabilidade (GARVIN, 1992).

Reeves e Bednar (1994) identificaram abordagens similares às de Garvin (1992) afirmando não existir uma definição global da qualidade, pois diferentes definições de qualidade são apropriadas para diferentes circunstâncias. Para Sousa e Voss (2002), a provisão de diferentes dimensões da qualidade atribui demandas diferentes nas diferentes funções organizacionais (marketing, projetos, manufatura, compras) e requer diferentes práticas organizacionais dependendo da dimensão da qualidade em questão. Citam, por exemplo, que enquanto a função projeto está ligada a muitas das dimensões, a manufatura e suas práticas estão limitadas à dimensão conformidade.

2.2 CONCEITOS DE CONTROLE E GARANTIA DA QUALIDADE

O controle da qualidade consiste, basicamente, “num conjunto de técnicas operacionais e atividades desenvolvidas com o intuito de garantir que o produto final atenda aos requisitos da qualidade que lhe são impostos por especificações previamente estabelecidas” (BRANDÃO, 1992). Segundo Paladini (2000), a verdadeira função do controle da qualidade é analisar, pesquisar e prevenir a ocorrência de defeitos, sendo que prevenir é a sua principal finalidade. Prevenir defeitos significa atuar pensando no futuro, evitando que os mesmos ocorram, planejando todas as ações a serem desencadeadas no processo e comparando com padrões de qualidade ou referenciais pré-estabelecidos (PALADINI, 2000).

Os controles da qualidade podem ser divididos em controle de produção ou de processos e controle de recebimento ou controle de produtos. O controle de produção, exercido pelo produtor, está relacionado aos fatores do processo que afetam a qualidade final do produto e o controle de recebimento visa comprovar a conformidade do produto entregue com a norma técnica ou especificação (SOUZA *et al.*, 1995). Em síntese, enquanto o controle de produção atua sobre o processo o controle de recebimento atua sobre o produto e visa comprovar se o nível de qualidade especificado foi atingido.

Segundo Souza *et al.* (1995), o controle da qualidade faz com que todos os intervenientes no processo de produção ora exerçam o controle de produção, ora exerçam o controle de recebimento, pois todos são ao mesmo tempo produtores e consumidores, fornecedores e clientes.

Um passo adiante na busca pela qualidade da construção é o sistema de garantia da qualidade, entendida como um conjunto de ações ao longo de todo o processo de produção e uso da construção, envolvendo aspectos técnicos, os fatores humanos e os fatores de organização e gestão empresarial (SOUZA, 2003). De acordo com Campos (1992), a garantia da qualidade tem como finalidade confirmar que todas as atividades da qualidade estão sendo conduzidas da forma requerida. Juran e Gryna (1991) complementam que a garantia da qualidade é

atividade que fornece evidências necessárias para estabelecer confiança, entre todos os envolvidos, de que a função qualidade está sendo executada de maneira eficaz.

Segundo Campos (1992), a garantia da qualidade é conseguida pelo gerenciamento correto de todas as atividades da qualidade em cada projeto e cada processo, buscando eliminar falhas, visando à satisfação do consumidor. O mesmo autor acrescenta ainda que a garantia da qualidade é atingida através de prática incessante do controle da qualidade.

Segundo Helene e Terzian (1992), um sistema de garantia da qualidade deve adotar como referencial de qualidade uma documentação técnica que estabeleça os procedimentos, especificações e responsabilidades a serem atendidos pelos vários intervenientes no processo de produção e uso dos edifícios tais como: projetistas, construtores, fabricantes de materiais e componentes, compradores e usuários.

2.3 QUALIDADE NO SUBSETOR EDIFICAÇÕES

A construção civil tem sido pressionada, nos últimos anos, para a implantação de certificação e de programas de melhoria da qualidade de seus produtos e processos (PENTEADO, 2003). Lôrdele e Melhado (2005) observam que isso vem ocorrendo por conta das muitas mudanças econômicas ocorridas no Brasil ao longo dos últimos vinte anos, que forçaram os diversos setores da indústria, incluindo o setor da construção civil, a uma mudança de postura, dando mais ênfase à gestão da qualidade. Com base nessa nova realidade, muitas construtoras estão buscando melhorar os seus processos visando aumentar a produtividade, diminuir os custos e garantir a satisfação do novo tipo de cliente (MENDES; PICCHI, 2005). Percebe-se uma mobilização crescente no sub-setor edificações para a melhoria da qualidade envolvendo a certificação de sistemas de gestão da qualidade (LÔRDELO; MELHADO, 2005).

Muitas construtoras vêm procurando as certificações de sistemas de gestão da qualidade baseados na norma NBR ISO 9001 (ABNT, 2000). Outros programas como o QUALIHAB, da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano de São Paulo, e o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), em nível federal, têm contribuído para ampliar a exigência de certificação de empresas construtoras. A Caixa Econômica Federal (CAIXA), que tem respondido por uma grande parcela, dos investimentos em habitação no Brasil, adotou como critérios de financiamento para as empresas construtoras, a implantação de sistemas de gestão da qualidade. Para isso, vinculou o financiamento à adesão ao PBQP-H, passando a exercer o uso do poder de compra, tendo em vista uma melhoria da qualidade das habitações (HINO; MELHADO, 1998). Baseado nos requisitos da NBR ISO 9001 (ABNT, 2000), o PBQP-H estabeleceu um sistema de Qualificação de Empresas de serviços e obras (SIQ-C), que recentemente foi revisado, passando a ser denominado de Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços de Obras (SiAC). De acordo com Souza (2003), o PBQP-H constitui-se o maior indutor da competitividade e qualidade no setor de construção do Brasil.

Além da busca pela competitividade, através da melhoria da qualidade, as empresas precisam responder ao aumento das exigências dos clientes (OZTAS *et al.*, 2005; PICCHI, 1993), os quais são amparados pelo código da defesa do consumidor. A qualidade da construção civil, segundo Penteado (2003), deve ser analisada também sob a ótica do Código de Defesa do Consumidor (1991), que estabelece uma série de regras para a relação entre produtor e consumidor. O código estabelece sanções pesadas aos projetistas, fabricantes e construtores no caso de ocorrer falhas no produto em uso ou vícios de construção, bem como veda a colocação no mercado de produtos e serviços em desacordo com as normas técnicas brasileiras, elaboradas pela ABNT (SOUZA *et al.*, 1995). A partir dessas abordagens, percebe-se que no atual ambiente competitivo, as empresas de construção devem atender a fatores econômicos, legais e institucionais, bem como fornecer um produto de qualidade ao usuário (SOUZA *et al.*, 1995).

Souza (2003) afirma que apesar dos diferentes programas institucionais e sistemas de gestão de qualidade, como o QUALIHAB, o PBQP-H e a ISO série 9000, disseminados no mercado, a construção civil não conseguiu atingir um alto nível de qualidade dos empreendimentos. Ishikawa (1986)⁶ *apud* Picchi (1993) afirma que a implementação do sistemas de gestão da qualidade baseada no cumprimento de requisitos normativos pode servir apenas como referência, sendo necessária a busca de metas maiores do que aquelas propostas pelas normas para atender às necessidades do consumidor.

Penteado (2003) comenta que um dos avanços verificados no campo da qualidade na construção foi a identificação da importância dos fatores humanos e dos aspectos de organização e gestão da empresa na obtenção da satisfação total dos clientes externos. Tem-se constatado então, que a normalização, a padronização e o controle da qualidade de produtos e processos são condições necessárias, mas não suficientes para se obter qualidade (PENTEADO, 2003). De acordo com o mesmo autor, falhas e manifestações patológicas construtivas identificadas apontam erros não só técnicos, mas também erros de caráter humano, de organização e de gestão das empresas. Para tanto, Picchi (1993) identifica dois enfoques para o sucesso das ações de uma empresa na área da qualidade: enfoque técnico (representado pelos procedimentos, controles, tecnologias, entre outros) e o enfoque organizacional, (representado pela política, responsabilidades, organização, aspectos comportamentais, de recursos humanos, motivação, etc).

Neste sentido, a busca pela qualidade do produto na construção civil, segundo Obata e Souza (2001), envolve um estudo da sua estrutura, entendendo como os diversos agentes do processo estão articulados para a obtenção da qualidade do produto. Penteado (2003) comenta que é importante ressaltar que a cadeia produtiva que forma o setor da construção é bastante complexa e heterogênea e envolve um amplo conjunto de agentes intervenientes, sendo gerados produtos parciais ao longo do processo de produção, com diferentes níveis de qualidade, que podem afetar a qualidade do produto final (PENTEADO, 2003). Souza *et al.* (1995) salientam que a qualidade na indústria da construção civil deve ser considerada de forma ampla, tomando como foco as várias etapas do processo construtivo, que podem ser divididas em: planejamento, projeto, fabricação de materiais e

⁶ Ishikawa, K. **TQC, Total Quality Control**: estratégia e administração da qualidade. São Paulo: IMC, 1986.

componentes, execução de obras, uso, operação e manutenção. Desta forma, a qualidade na construção inicia com a identificação das necessidades do usuário e passa pelas várias etapas do processo, sendo agregados em cada uma delas, produtos e serviços com diferentes níveis de qualidade, resultando em um produto final que deve satisfazer às necessidades do usuário, identificadas inicialmente (SOUZA *et al.*, 1995).

No **processo de projeto** são definidas características do produto que vão determinar o grau de satisfação das expectativas dos clientes e a qualidade de conformação (PICCHI, 1993). De acordo com alguns autores, Franco e Agopyan (1994), Formoso *et al.* (1998), o processo de projeto de edificações da construção civil tem grande influência sobre os demais processos da empresa e sobre a qualidade do produto final a ser entregue ao cliente. Souza *et al.* (1995) observam que além desta influência, o processo de projeto tem também um forte impacto no processo de execução da obra, pois define detalhes construtivos e especificações que permitem uma maior facilidade de construir.

Quando à atividade de projeto, é pouco valorizada, os projetos são entregues à obra repletos de erros e de lacunas, levando a grandes perdas de eficiência nas atividades de execução, bem como ao prejuízo de determinadas características do produto que foram idealizadas antes de sua execução (MELHADO, 1994). A importância da fase de projetos no sucesso de um empreendimento é também destacada por Ohashi e Franco (2001). Os referidos autores comentam que uma gestão ineficiente do processo de projeto pode causar muitos problemas como: a incompatibilidades entre as diversas modalidades de projeto, especificações insuficientes ou incorretas e ausência e/ou clareza nos detalhes, refletindo principalmente em desperdícios de materiais e mão-de-obra, problemas durante na execução da obra que comprometem a qualidade da construção, além de atrasos no prazo de entrega.

Picchi (1993) realça que são instrumentos para o controle e garantia da qualidade para projetos de edifícios: a qualificação dos projetistas e de novos projetos, coordenação e análise crítica de projetos, projetos de produção, controle da qualidade de projetos, controle de modificações durante a obra. Melhado (1994) salienta que as empresas devem selecionar projetistas especializados e com conhecimento técnico e experiência suficiente e contratá-los de acordo com suas necessidades, evitando a contratação por concorrência de preços.

Segundo Franco e Agopyan (1994), são fatores importantes para o desenvolvimento de projeto de qualidade e racionalizado: a implantação de um sistema de coordenação de projetos; a integração das equipes de projetistas; o controle de qualidade do projeto; a aplicação dos princípios de construtibilidade através da integração do conhecimento e experiência construtiva durante as fases de concepção, planejamento, projeto e execução da obra visando à simplificação das operações construtivas; a simplificação e padronização das soluções; a pré-moldagem de elementos complexos; a adoção de sistemas de coordenação dimensional, e os detalhamentos melhorados dos projetos.

Quanto ao **processo de execução**, segundo Paladini (2000), a qualidade representa o esforço para o pleno atendimento às especificações de projeto, isto é, a qualidade definida em termos do processo de produção. De acordo com Picchi e Agopyan (1993) através da qualificação de processos de execução se consegue garantir

que os processos adotados tenham capacidade de atender a qualidade especificada. Estes mesmos autores salientam que a realização de cada serviço deve ser precedida da redação de um procedimento de execução, que descreve em detalhes como o serviço deve ser feito. Para Souza e Abiko (1997) é comum as empresas de construção não registrarem formalmente o procedimento executivo de cada serviço. Dessa maneira, o seu domínio tecnológico passa a ser limitado à variável em função da mão-de-obra ou do empreiteiro. É fundamental, portanto, registrar formalmente os procedimentos de execução de cada serviço de maneira a tornar a empresa mais estável com relação à qualidade das obras que oferece a seus clientes, além de facilitar o treinamento adequado da mão-de-obra (SOUZA, ABIKO, 1997).

Para atender a qualidade requerida é necessário estar atento a todos os aspectos dos diversos elementos que compõem o gerenciamento da obra, tais como: análise de projeto e das especificações, projeto e implementação do canteiro de obras, planejamento e programação da obra, gerenciamento de mão-de-obra, equipamento e ferramentas, gerenciamento de materiais, gerenciamento da produção, gerenciamento da segurança do trabalho (PENTEADO, 2003). A qualidade da obra como todo é, portanto, resultante da qualidade na execução de cada serviço específico que faz parte do processo de produção e consiste em padronizar e planejar a execução dos serviços, treinar a mão-de-obra envolvida, fazer de acordo com o padrão, checar o que foi realizado e tomar ações corretivas quando for o caso (SOUZA, ABIKO, 1997). Picchi (1993) salienta que na construção de edifícios, quando o treinamento da mão-de-obra para a produção é deficiente pode prejudicar qualquer esforço de melhoria da qualidade. O treinamento envolve três aspectos: a educação, o treinamento para a produção e o treinamento para a qualidade.

Em relação aos **materiais**, segundo Souza e Abiko (1997) são os principais insumos da construção, respondendo por parte significativa dos custos globais e têm forte impacto sobre a qualidade do produto final. A qualidade na aquisição dos materiais tem caráter multifuncional envolvendo diversos setores da empresa, como projeto, compras, obras e outros (SOUZA *et al.*, 1995). Segundo esses últimos autores a qualidade na aquisição é composta por: especificações técnicas para a compra de produtos, controle de recebimento dos materiais em obra, orientações para o armazenamento e transporte dos materiais e seleção e avaliação de fornecedores de materiais e equipamentos. As especificações dos materiais podem ter como base as normas técnicas (PENTEADO, 2003). No processo de aquisição, também é preciso verificar se o material entregue na obra está realmente de acordo com o pedido de compra que se baseia na especificação e retro-alimentar o sistema de forma permitir o aperfeiçoamento contínuo. Portanto, é fundamental realizar na obra o controle da qualidade de recebimento (SOUZA; ABIKO, 1997). O controle de recebimento dos materiais deve balizar em: normas brasileiras e a estrutura dos sistemas de gestão da qualidade; fichas de controle de recebimento de materiais visando, inclusive preencher lacunas da normalização oficial brasileira; materiais certificados ou qualificados e cadastro de fornecedores (SANTOS, 2003).

2.4 FERRAMENTAS DE MELHORIA DA QUALIDADE

Segundo McQuater *et al.* (1995), ferramentas são meios, técnicas, recursos ou mecanismos práticos que podem ser aplicadas para a melhoria da qualidade dos processos. Bamford e Greatbanks (2003) comentam que o uso de ferramentas contribui para resolver problemas, entender e facilitar melhorias num processo. As ferramentas podem ser utilizadas para a coleta de informações, documentar processos, identificar problemas, buscar possíveis soluções para esses problemas e implementar essas possíveis soluções, visando uma melhoria da qualidade (SPENGLER *et al.*, 1999).

De acordo com Fonseca e Miyake (2006), na busca por melhorias dos seus processos, muitas empresas têm mobilizado, tomando como premissa que propiciar a qualidade de bens e serviços é o meio para melhorar o seu desempenho e se posicionar no mercado. Segundo estes mesmos autores, uma das maneiras das empresas aprimorarem seus níveis de qualidade consiste no uso apropriado de técnicas e ferramentas de melhoria da qualidade. Entretanto, de acordo com Bamford e Greatbanks (2005), várias destas ferramentas não são integradas no dia a dia dos processos de melhorias de negócios e das indústrias.

Dentre estas ferramentas as mais conhecidas, segundo Spengler *et al.* (1999) e Okes (2002), são as sete ferramentas básicas da qualidade e as sete novas ferramentas, também conhecidas como as ferramentas gerenciais. O conjunto das sete ferramentas básicas do controle da qualidade é formado segundo McQuater *et al.* (1995), Plesk, (1995), por: estratificação, folha de verificação, gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, histograma, diagrama de dispersão e gráficos de controle. As primeiras quatro ferramentas (estratificação, folha de verificação, gráfico de Pareto e diagrama de causa e efeito) são utilizadas para entender o processo identificando causas potenciais de problemas e na coleta e exposição de dados indicando que causas são mais prevalentes (OKES, 2002). Segundo o mesmo autor, as outras três (histograma, diagrama de dispersão e gráficos de controle) são utilizadas para uma análise mais precisa dos dados, verificando as tendências, distribuições e relações. As sete novas ferramentas incluem, de acordo com Okes (2002): o diagrama de afinidades ou diagrama KJ, o diagrama de relações, o diagrama em matriz, o diagrama de priorização, o diagrama de árvore ou diagrama sistemático, o diagrama do processo decisório e o diagrama de setas.

As sete ferramentas gerenciais da qualidade enfatizam as necessidades dos clientes e facilitam a obtenção de uma visão sobre onde implantar estratégias no controle da qualidade (SPENGLER *et al.*, 1999). Estas ferramentas são essenciais no tratamento de dados não numéricos (DELLARETTI FILHO, 1996) e complementam as sete ferramentas básicas da qualidade na análise de processos (MIZUNO, 1979; DELLARETTI FILHO, 1996). Enquanto as ferramentas básicas estão focadas na qualidade da operação, isto é no controle da qualidade, as gerenciais estão mais voltadas para o gerenciamento e planejamento da qualidade de uma determinada operação (HE *et al.*, 1996).

As ferramentas gerenciais são utilizadas na análise conceitual e qualitativa de informações que prevalecem quando se pretende fazer mudanças organizacionais ou na gestão de projetos e ou de processos (OKES, 2002).

Além disso, fornece aos gerentes e administradores ferramentas que viabilizem o mapeamento dos problemas da qualidade e o planejamento dos esforços para o delineamento de planos de ação para a melhoria da qualidade do projeto, qualidade da conformidade ou qualidade do desempenho (SPENGLER et al., 1999).

Segundo Okes (2002) existem muitas outras ferramentas utilizadas para a melhoria da qualidade, entre as quais, Compton e Farrington (2000) citam a utilização do FMEA, *Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise do Modo e Efeito de Falhas e o FTA, *Fault Tree Analysis* ou Análise da Árvore de Falhas, no suporte das atividades de desenvolvimento de produtos e melhorias de processos. De acordo com vários outros autores, tais como Freitas e Colosimo (1997), Helman e Andery (1995), El-haik e Roy (2005), o FMEA e o FTA, são as ferramentas mais indicadas para a análise de falhas e suas respectivas causas.

Helman e Andery (1995) comentam que estas ferramentas possibilitam melhorias nos sistemas, mediante a detecção de pontos problemáticos, relacionando as falhas nos elementos do sub-sistema com suas conseqüências no sistema como um todo. Os referidos autores citam que podem ser aplicadas nas seguintes situações:

- Na melhoria de um produto já existente ou processo já em operação, a partir da identificação das causas das falhas ocorridas e seu posterior bloqueio;
- Na detecção e bloqueio de causas de falhas potenciais (antes que aconteçam) em produtos ou processos já em operação; e
- Na detecção e bloqueio das causas de falhas potenciais (antes que aconteçam) em produtos ou processos, ainda na fase de projeto.

As duas técnicas, segundo Freitas e Colosimo (1997), diferenciam-se em relação à finalidade e ao procedimento de aplicação. Helman e Andery (1995) fizeram uma comparação entre estas duas técnicas em termos de objetivo, procedimento e característica básica conforme ilustrada na figura 1.

	FTA	FMEA
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação das causas primárias das falhas; • Elaboração de uma relação lógica entre falhas primárias e falha final do produto; • Análise da confiabilidade do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação das falhas críticas em cada componente, suas causas e conseqüências; • Hierarquizar as falhas; • Análise da confiabilidade do sistema.
PROCEDIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação da falha (evento) que é detectada pelo usuário do produto; • Relacionar essa falha com falhas intermediárias e eventos mais básicos por meio de símbolos lógicos • Análise das falhas em potencial de todos os elementos do sistema, e previsão das conseqüências; 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise das falhas em potencial de todos os elementos do sistema, e previsão das conseqüências; • Relação de ações corretivas (ou preventivas) a serem tomadas.
CARACTERÍSTICA BÁSICA	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor método para a análise individual de uma falha específica; • O enfoque é dado à falha final do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser utilizado na análise de falhas simultâneas ou co-relacionadas; • Todos os componentes do sistema são passíveis de análise.

Figura 1: Diagrama de afinidades (Helman e Andery, 1995)

2.4.1 Gráfico de Pareto

Gráfico de Pareto é uma ferramenta de controle da qualidade que permite classificar ou ordenar dados de forma descendente, de maior para a menor frequência de ocorrência (KARUPPUSAMI; GANDHINATHAN, 2006). De acordo com Souza *et al.* (1995), é uma forma especial de gráficos de barra que permite determinar prioridades entre diversos problemas. Ajuda a dirigir esforços para problemas realmente importantes onde fica fácil observar que algumas poucas causas são responsáveis por grande parte dos problemas, enquanto muitas outras influem de maneira pouco significativa. Senol (2007) complementa que é uma técnica estatística para a tomada de decisão a partir de um limitado número de tarefas que produzem vários efeitos significantes. No caso dos defeitos nas edificações, esta ferramenta permite verificar quais as principais formas de manifestações patológicas e as suas respectivas causas.

O objetivo é retratar uma determinada situação dispondo as causas em uma escala de frequência e classificá-las em duas categorias: as “poucas causas vitais” dentre as “muitas causas triviais”. Segundo Karuppusami e Gandhinathan (2006), as poucas vitais são um pequeno número de problemas que resultam em perdas grandes num processo. Representam uma percentagem acumulada de cerca de 80% das ocorrências, enquanto as muitas triviais são um grande número de causas poucos significantes que representam os restantes 20% de ocorrência.

2.4.2 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou diagrama espinha de peixe, é utilizado para identificar e estruturar as causas para um determinado efeito e encontrar as áreas onde podem ser introduzidas melhorias (SPENGLER et al., 1999). Segundo Ishikawa (1993), o diagrama de causa e efeito pode ser utilizado tanto para controlar o processo e garantir a qualidade do produto final como para relacionar um defeito com as suas causas. Esse diagrama classifica as várias causas que podem afetar uma determinada operação, indicando a relação entre causa e efeito (EL-HAIK; ROY, 2005). Conforme Souza et al. (1995) o diagrama permite registrar diversas causas de um problema, a partir da análise e de classificação das prováveis origens destas causas. A partir de uma lista bem definida de possíveis causas, as mais prováveis são identificadas e selecionadas para uma melhor análise (BRASSARD, 1993).

2.4.3 Diagrama de afinidade

Segundo Mizuno (1979), o diagrama de afinidade consiste em reunir fatos, opiniões e idéias de áreas desconhecidas e inexploradas que estão em completo estado de desorganização, de acordo com as suas afinidades mútuas. De acordo com HE et al. (1996), este diagrama é uma representação gráfica de grupos de fatos, opiniões, idéias e requisitos dos clientes, de acordo com suas afinidades naturais. A ferramenta permite agrupar os vários conjuntos de dados com a finalidade de estudar e analisar posteriormente as relações de causa e efeito entre eles.

Na visão de Dellaretti Filho (1996), é um processo exploratório, no qual se procura, usando a criatividade, desenvolver visões novas de situações antigas. O mesmo autor observa que a aplicação desta ferramenta permite direcionar a solução de um problema; organizar as informações necessárias à solução de um problema, organizar as causas de um problema e prever situações futuras.

Mizuno (1979) salienta que para obter as informações necessárias pode-se utilizar a revisão da literatura, entrevistas com pessoas e sessões de grupo destinadas a extrair as opiniões de muitas pessoas. Os dados úteis podem ser baseados não só em opiniões e idéias, mas também em dados factuais quantificáveis (MIZUNO, 1979).

A figura 2, a seguir, ilustra um exemplo de agrupamento de dados de acordo com as suas afinidades mútuas.

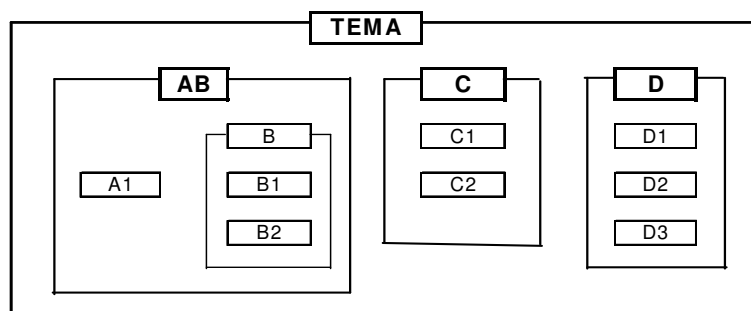


Figura 2: Diagrama de afinidades (Dellaretti Filho, 1996)

2.4.4 Diagrama de relações

Enquanto o diagrama de afinidade mostra a associação dos fatos, o diagrama de relações evidencia a conexão lógica entre idéias e problemas em forma de uma rede, o que o diferencia também do diagrama de causa e efeito, na qual as relações de causa e efeito são apresentadas em forma de árvore (HE *et al.*, 1996). Ao contrário do diagrama de afinidade, que é mais subjetivo, o diagrama de relações é uma técnica lógica que une através de setas as relações de causa e efeito entre fatores (MIZUNO, 1979), conforme ilustrado na figura 3 a seguir.

O diagrama de relações busca explicitar a estrutura lógica das relações de causa e efeito pelo pensamento multidirecional, em contraposição ao pensamento linear lógico tradicional. Esse diagrama permite explorar as ligações lógicas de causa e efeito, partindo do princípio de que cada evento não é resultado de uma única causa, mas de múltiplas causas inter-relacionadas (DELLARETTI FILHO, 1996). Conhecido também como diagrama de inter-relações, é utilizado para clarificar e compreender relações complexas, nas quais uma determinada situação de falha pode influenciar outras duas ou mais situações (SPENGLER *et al.*, 1999). Permite isolar os poucos problemas vitais da situação em análise, identificar as distintas relações e o entendimento rápido do que precisa ser feito para a melhoria de processos (BOUER, 2004).

Segundo Mizuno (1979), o diagrama de relações pode ser utilizado em várias situações de melhorias ou controle da qualidade entre as quais para determinar e desenvolver políticas da qualidade, melhorias no processo de produção, especialmente no planejamento, para eliminar defeitos latentes. Dellaretti Filho (1996) salienta que é aconselhável sua utilização quando o tema é complexo, sendo difícil de estabelecer as ligações de causa e efeito.

Esse diagrama, quando utilizado, permite simplificar a solução de problemas mediante a participação dos diversos departamentos envolvidos, assim como também permite tornar evidente os pontos-chave do problema (DELLARETTI FILHO, 1996). Além disso, Mizuno (1979) acrescenta que com a sua utilização os problemas podem ser simplificados em vários pontos principais, ajudando no estabelecimento de medidas para melhorias; as relações entre os vários departamentos podem ser esclarecidas, tornando a solução do problema mais fácil; as questões principais e os pontos-chaves de solução do problema se tornam evidentes após um determinado número de revisões; e também simplifica a exposição de um problema complexo especialmente para a alta gerência.

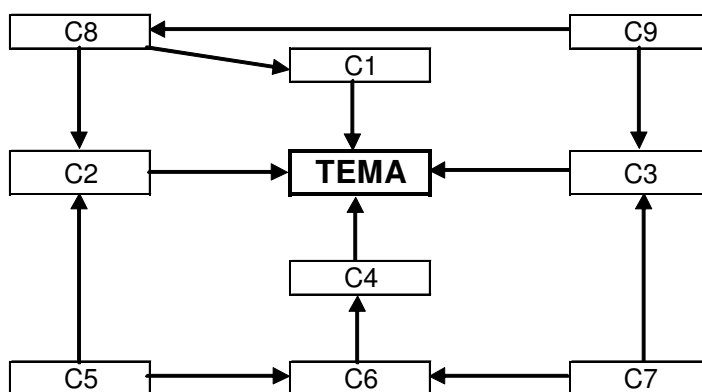


Figura 3: Diagrama de relações (Dellaretti Filho, 1996)

2.4.5 FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos das Falhas)

FMEA é uma ferramenta de análise de falhas proposta pela NASA em 1963, sendo desde então muito utilizada para a análise de confiabilidade de produtos e processos em várias indústrias, particularmente aeroespacial, nuclear e automotiva (SHARMA; KUMAR, 2005). É uma técnica analítica utilizada pela engenharia para auxiliar e assegurar que todos os potenciais problemas em certo processo sejam considerados e identificados. Essa ferramenta identifica os potenciais modos falhas em produtos, os potenciais efeitos das falhas no consumidor, as potenciais causas de falhas na manufatura, formas para reduzir a frequência de ocorrência dos modos de falha e os métodos correntes de detecção das condições de falha (TAN, 2002).

O objetivo principal desta ferramenta é descobrir e priorizar os potenciais modos de falha em cada componente, suas causas e suas consequências nos sistema e no produto mediante os índices de riscos (HELMAN; ANDERY, 1995; FREITAS; COLOSIMO, 1997, SHARMA; KUMAR, 2005). De acordo com Sharma e Kumar (2005), o resultado da análise ajuda os gerentes e engenheiros na identificação dos modos de falha, suas causas, e buscar formas de corrigi-las durante a fase de projeto e de produção.

O FMEA permite melhorar a confiabilidade e inovar a qualidade de produtos a partir do desenvolvimento de ações preventivas de análise de riscos e gestão da qualidade na fase de projeto e de montagem (HANS *et al.*, 2007). Senol (2007) acrescenta que é utilizado como meio de melhoria da qualidade resolvendo problemas que podem surgir na fase de projeto ou de processo, pois permite avaliar sistemas, projetos, processos ou serviços para possíveis falhas (problemas, erros, riscos) que podem ocorrer.

Essa ferramenta se mostra importante para a execução de melhorias nos sistemas, pois possibilita a descoberta de pontos problemáticos, relacionando falhas em nível dos elementos do subsistema com os seus efeitos no sistema como um todo (HELMAN; ANDERY, 1995). Segundo Sharma e Kumar (2005), todos os sistemas complexos são compostos por vários subsistemas que podem ser quebrados até o nível dos seus componentes

e serviços e com isso fazer uma análise de confiabilidade de cada uma dessas partes verificando a influência destas no sistema como um todo. Serve portanto, para identificar falhas em componentes, partes ou funções que levam a resultados indesejáveis como a perda de produção e função (SHARMA; KUMAR, 2005).

2.4.5.1 Procedimento para a utilização da ferramenta

Conforme Sharma e Kumar (2005), o FMEA é uma abordagem estruturada *bottom-up*, que começa por conhecer os potenciais modos de falhas em um nível inferior e investigar os seus efeitos no próximo nível superior do subsistema. Segundo Helman e Andery (1995), a elaboração do FMEA consiste em duas fases. Primeiramente identificar todos os possíveis modos de falha e seus efeitos, que consiste em definir as potenciais falhas nos componentes e no processo de manufatura. A segunda fase consiste em uma análise crítica para determinar a severidade dos modos de falhas mediante avaliação e o ranking dos modos de falha de cada nível.

Hans *et al.* (2007) complementam a visão de Helman e Andery (1995) ao afirmarem que o primeiro passo do método inclui uma análise estrutural (definição dos produtos, seus componentes e o ambiente que se encontram), análise funcional (identificação das funções dos produtos e seus componentes) e processo de análise (estudo na fase de processo). Após essas etapas o FMEA é utilizado para identificar os modos de falha (pesquisar degradações e falhas dos componentes), suas causas e seus efeitos, tendo em conta os problemas potenciais e erros que podem ocorrer durante a vida útil do produto (HANS *et al.*, 2007).

Helman e Andery (1995) observam que numa análise de falhas utilizando o FMEA alguns questionamentos são pertinentes: que tipos de falhas são observados? Que partes do sistema são afetadas? Quais são os efeitos da falha sobre o sistema? Qual a importância da falha? Como preveni-la?

2.4.5.2 Formulário do FMEA e descrição dos campos

A sequência para a aplicação dessa ferramenta é definida num formulário, conforme o exemplo ilustrado na figura 4 a seguir.

FMEA – ANÁLISE DOS MODOS E EFITOS DAS FALHAS																	
Processo: Nome da Peça Data: Folha No _____ de _____										FMEA de Processo () FMEA de Produto ()							
Nome do produto/processo	Função do produto/processo	Modo de Falha	Efeito (s) de falha	Causa(s) de Falha	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria							
						S	O	D	RPN(R)	Ações Recomendadas	Responsável	Medidas implantadas	Índices Atuais				
						S	O	D	RPN(R)				S	O	D	RPN	
Quem esta sendo analisado?	Quais funções devem ser atendidas?	Como a função não pode ser atendida?	Quais os efeitos dessas causas?	Quais as possíveis causas?	Que medidas de prevenção a serem tomadas?	S	O	D	R	Quais os riscos prioritários?							
										Que medidas de melhorias a serem tomadas?							

S = Severidade **O = Ocorrência** **D = Detecção** **RPN ou R = S x O x D = Índice de Riscos**

Figura 4: exemplo de um formulário FMEA (adaptado de Helman e Andery, 1995)

A seguir é descrito cada um dos campos do formulário:

- **Nome do produto ou processo:** esse campo serve para identificar o elemento ou etapa do processo em análise. Para tanto se faz a seguinte questão: que produto ou processo está sendo analisado?
- **Função do componente ou processo:** as falhas são sempre inadequações a uma função. Esse campo descreve a função que um item em análise deve desempenhar (HELMAN; ANDERY, 1995). Para tanto pergunta-se: quais funções devem ser atendidas?
- **Modo ou tipo de falha:** de acordo com Helman e Andery (1995) modo de falha são eventos que associam uma diminuição parcial ou total de uma função do produto e suas metas de desempenho. Para Rausand e Oien (1996), o modo de falha é a descrição da falha, ou seja, é como a falha é observada tendo em conta os desvios ou tolerâncias aceitáveis, isto é, de que forma a função pode não ser atendida.
- **Efeito da falha:** segundo Helman e Andery (1995), os efeitos das falhas são as formas como os modos de falhas afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente. O campo descreve como a falha afeta o cliente. Para esse campo pergunta-se: quais os efeitos das falhas?
- **Causa de falha:** são os eventos que geram ou provocam o aparecimento do tipo ou modo de falha. A relação entre causa de falha e efeito de falha é que, cada modo de falha poderá ser causado por

diferentes causas, resultando em vários efeitos diferentes (RAUSAND; ØIEN, 1996). Quais as possíveis causas dos modos de falha?

- **Controles atuais:** os controles atuais são medidas preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos da empresa. Que medidas de prevenção estão sendo tomadas? São exemplos: procedimentos de revisão de projeto, confrontação com normas técnicas, técnicas de inspeção e ensaios.
- **Os Índices:** o valor de cada índice é atribuído em uma escala de zero a dez, de acordo com critérios apresentados na figura 5. São eles:
 - **Índice de Ocorrência (O):** o índice de ocorrência é uma estimativa das probabilidades combinadas de ocorrência de uma causa de falha, e dela resultarem o tipo de falha no produto ou no processo (HELMAN; ANDERY, 1995). É atribuído uma nota ou índice de ocorrência para cada causa de falha, baseando-se em: dados estatísticos ou relatórios de falhas, dados obtidos dos fornecedores ou da literatura técnica (HELMAN; ANDERY, 1995).
 - **Índice de Severidade ou de Gravidade (S ou G):** esse índice reflete a gravidade do efeito da falha sobre o cliente, assumindo que o tipo de falha ocorra. Na atribuição desse índice deve-se olhar o efeito da falha e o quanto ela pode afetar o cliente (HELMAN; ANDERY, 1995).
 - **Índice de Detecção (D):** o índice de detecção avalia a probabilidade de a falha ser detectada antes que o produto chegue ao cliente. Ele é atribuído olhando o conjunto modo de falha e efeito da falha e para os controles atuais exercidos (HELMAN; ANDERY, 1995).
 - **Índice de Risco (R):** é o produto dos três índices anteriores ($R = O \times G \times D$). A partir desse índice as falhas com maior índice são priorizadas estabelecendo um plano de ação como contramedida (HELMAN; ANDERY, 1995).

Para a definição dos índices são estabelecidos alguns critérios, conforme ilustrado na figura 5 a seguir.

ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O)			ÍNDICE DE GRAVIDADE (G)		ÍNDICE DE DETECÇÃO (D)	
Índice	Probabilidade de Ocorrência	Ocorrência	Índice	Critério	Índice	Critério
1	Muito remota	Excepcional	1	Quase não são percebidos os efeitos das falhas sobre processo ou produto	1	Muito alta a probabilidade de detecção
2	Muito pequena	Muito poucas vezes	2 a 3	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente	2 a 3	Alta probabilidade de detecção
3	Pequena	Poucas vezes	4 a 6	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente	4 a 6	Moderada probabilidade de detecção para ações corretivas
4 a 6	Moderada	Ocasional, algumas vezes	7 a 8	Sistema deixa de funcionar e gera grande descontentamento do cliente	7 a 8	Pequena probabilidade de detecção
7 a 8	Alta	Frequente	9 a 10	Idem ao anterior porém afeta a segurança	9	Muito pequena probabilidade de detecção. Não há nenhum tipo de controle ou inspeção
9 a 10	Muito Alta	Inevitável, certamente ocorrerá a falha			10	Muito remota probabilidade de detecção. A falha não pode ser detectada.

Figura 5: Critérios para definição dos índices de ocorrência, gravidade e detecção (baseado em Helman e Andery, 1995)

2.5 ANÁLISE DE FALHAS

Neste item são apresentados alguns conceitos básicos utilizados na análise de falhas.

2.5.1 Conceito de falha

Segundo Rausand e Oien (1996), falha é um conceito fundamental em uma análise de confiabilidade, cuja a qualidade depende de análise criteriosa de todas as funções e, consequentemente, de todas as falhas associadas ao item em estudo. Nesta abordagem, os referidos autores consideram item como sendo um material, equipamento, subsistema ou sistema.

O termo falha é muitas vezes confundido com os termos defeito e erro, não existindo um consenso no meio acadêmico quanto a essas definições (RAUSAND; OIEN, 1996). De acordo com estes mesmos autores, em uma análise de falha é importante uma distinção entre falha, erro e defeito. A figura 6, a seguir, ilustra a diferença entre estes termos.

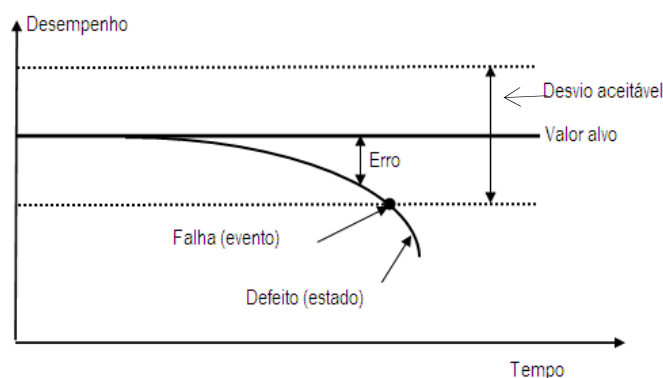


Figura 6: diferença entre falha, erro e defeito (baseado em RAUSAND e OIEN, 1996)

Como base na figura, os referidos autores definem assim os termos:

- **Falha:** falha é um evento que acontece quando o valor observado excede os limites aceitáveis. É também definida como o término da habilidade de um item em desempenhar uma determinada função requerida. Esta definição está muito relacionada à definição de vida útil de um item. De acordo com a ASTM (1982) *apud* Andrade (1997), a vida útil é o período de tempo após a instalação de um item, em que as propriedades do mesmo ficam acima de valores mínimos aceitáveis. Segundo Hans *et al.* (2007) a avaliação da durabilidade e vida útil dos componentes e elementos de construção não são satisfatórios, dado a sua complexidade e ao pouco conhecimento dos cenários de falhas dos mesmos. As fases de vida de um item podem ser descritos em três períodos de vida característicos (LAFARIA, 2001): (a) período de falha imatura, no qual se verifica falhas devido a deficiências na fase de projetos e de fabricação; (b) período de falhas constantes, em que as falhas são normalmente de natureza

aleatórias sendo mais difíceis de serem evitadas; (c) período de falha por desgaste, no qual inicia-se o término da vida útil do item. Estes períodos são representados numa curva de tempo designada da curva da banheira, conforme a figura 7 (LAFARIA, 2001).

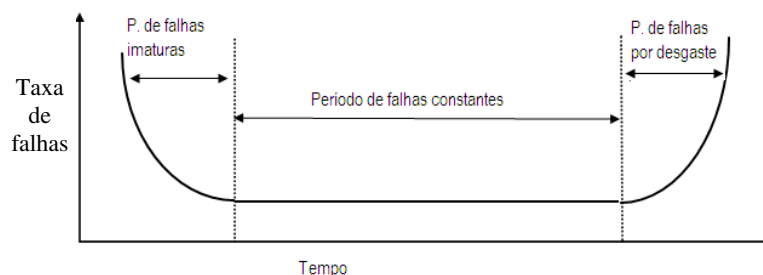


Figura 7: A curva da banheira (adaptado de LAFRAIA, 2001)

Rausand e Oien (1996) comentam que pode haver múltiplas falhas quando resultantes de um conjunto de causas raízes comuns, ou em forma de cascata quando uma falha em um componente pode resultar em uma sucessão de falhas no sistema, configurando o “efeito dominó”. Hans *et al.* (2007) citam o relatório da Agência Francesa de Qualidade na Construção (AQC, 2005), no qual se aborda o “efeito dominó” para descrever as patologias nas construções, observadas na última década na França.

- **Defeito:** defeito é o estado resultante de uma falha. É o estado de um item caracterizado por inabilidade em desempenhar uma função requerida. Para Paladini (2000), defeito é a falta de conformidade de um produto quando determinada característica da qualidade é comparada a suas especificações. Essa definição assemelha-se à definição apresentada por Rausand e Oien (1996). Os defeitos devem ser classificados de acordo com a sua ocorrência ou com a importância (PALADINI, 2000). Quanto à ocorrência, este último autor observa que podem ser classificados em termos de acabamento e aparência ou de suas características funcionais. Em relação à importância, os defeitos podem ser: (a) críticos – quando associados à função principal do produto e impedem o uso do produto (impossibilidade de usuário utilizar o produto); (b) defeitos maiores – quando comprometem o funcionamento do produto inviabilizando o seu uso imediatamente (reduz a capacidade de operação do produto); (c) irregularidades – quando não afetam o uso do produto, mas contém imperfeições no acabamento. Neste sentido, na construção civil pode-se considerar as manifestações patológicas como um defeito do produto acabado, podendo afetar o desempenho da edificação ou comprometendo a sua estética.
- **Erro:** é uma discrepância entre um valor calculado, observado ou medido e o valor real especificado ou teoricamente correto. Erro não é considerado uma falha, uma vez que pode estar dentro dos limites aceitáveis de desvio em relação ao desempenho desejado. É muitas vezes referido como sendo uma falha incipiente.

2.5.2 Modos de falhas

As falhas se manifestam quando um item deixa de desempenhar uma função desejada, podendo ser classificadas em modos ou tipos de falhas (HELMAN; ANDERY, 1995; RAUSAN; OIEN, 1996). De acordo com Helman e Andery (1995), modos ou tipos de falha são maneiras pelas quais se verifica a diminuição parcial ou total da função de um componente, subsistema, sistema, processo, produto e suas respectivas metas de desempenho. Rausand e Øien (1996) acrescentam que o modo de falha é uma forma de descrição da falha, que indica como a mesma é observada, tendo em conta os desvios ou tolerâncias aceitáveis. Também é definida como a maneira pela qual um determinado item deixa de executar sua função.

Em certas aplicações práticas, os modos de falhas podem se confundir com causas de falhas ou com efeitos de falhas (RAUSAND; OIEN, 1995). Segundo os mesmos autores, a identificação de um modo de falha depende do nível de análise, ou seja, em um determinado sistema um modo de falha em um nível abaixo pode ser uma causa de falha e ser um efeito da falha em outro nível mais acima (vide item 2.5.7 a seguir). Em outras palavras, em um determinado sistema um modo de falha em um componente pode servir de causa do modo de falha em outro componente.

Para identificar os modos de falhas de um item é necessário identificar as suas funções e os resultados esperados. O resultado esperado pode ser um requisito a ser atendido ou um valor especificado e seus respectivos limites tolerâncias (RAUSAND; OIEN, 1996). Freitas e Colosimo (1997) salientam que um determinado modo de falha pode levar a um ou mais efeitos.

A figura 8, a seguir, exemplifica a forma de identificação de modo de falha em relação ao valor especificado para o tempo de fechamento e abertura de uma válvula.

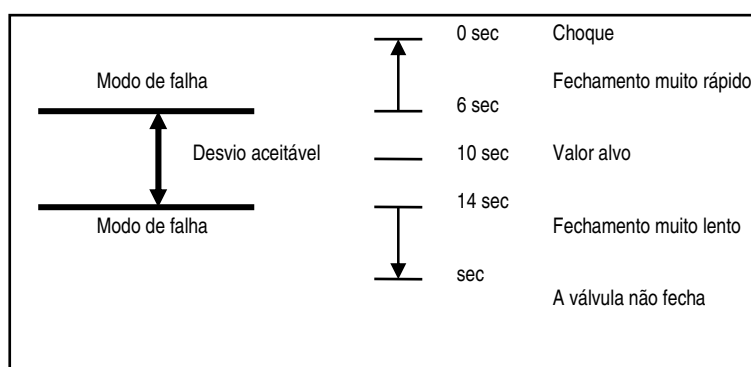


Figura 8: exemplificação de modos de falha no tempo de fechamento de uma válvula (adaptado de Rausand e Oien, 1996)

Conforme a referida figura, o tempo alvo para o fechamento da válvula é de 10 segundos, enquanto o tempo de fechamento entre 6 e 14 segundos é considerado aceitável uma vez que atende às especificações. São considerados modos de falha, os tempos de fechamento abaixo de 6 segundos. Nesse caso são considerados modos de falha, o fechamento rápido e o choque por golpe de aríete. Para o tempo de fechamento acima de 14

segundos são considerados dois modos de falhas: o fechamento muito lento e o não fechamento da válvula. Fazendo um paralelo com as recomendações da NBR 8798 (ABNT, 1985) para a espessura da juntas de argamassa para a alvenaria estrutural (10 ± 3 mm), os valores além da especificação podem ser considerados como modos de falhas, conforme a figura 9. Nesse exemplo são considerados modos ou tipo de falhas: a junta não conforme por ter menos do que 7 mm ou mais que 13 mm, a junta seca (0 mm) e junta muito espessa, quando a espessura fica muito acima do valor aceitável.

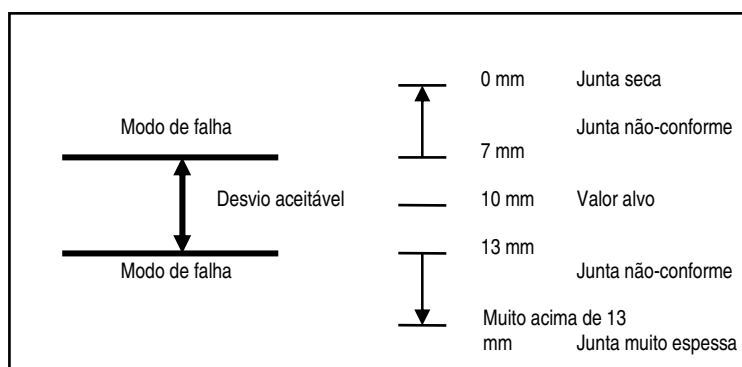


Figura 9: exemplificação de modos de falha em juntas de argamassa

Quanto ao atendimento às funções, os modos de falha podem ser classificados em três grupos: perda total da função (válvula não fecha), perda parcial de função (válvula fecha muito lentamente) ou função errônea quando o item desempenha uma função contrária ao desejado (RAUSAND; OIEN, 1996). Para Almeida *et al.* (2006), as falhas que levam à interrupção do funcionamento de um sistema podem gerar grandes prejuízos e, por isso, podem ser priorizadas para a análise por conta da gravidade do efeito gerado.

Segundo Helman e Andery (1995), são exemplos de modos de falha: aberto, medidas em excesso, deformado, omitido, mal montado, desalinhado, encurtado, trincado, corrosão, entre outros.

2.5.3 Função de um item

De acordo com Rausand e Oien (1996), em uma análise de falhas é necessária a adoção de um procedimento formal para a identificação das funções e falhas de um determinado item, fazendo com que todas as partes e suas respectivas funções sejam identificadas. A função de um item num determinado sistema é caracterizada a partir da sua finalidade, isto é, o que deve desempenhar no sistema (HELMAN; ANDERY, 1996). Pode ser definida como toda e qualquer atividade que o item desempenha, sob o ponto de vista operacional (LAFRAIA, 2001)

Um sistema complexo, segundo Rausand e Oien (1996), pode ter várias funções. Entretanto nem todas as funções têm o mesmo grau de importância, podendo ser classificadas em: funções essenciais, funções auxiliares, função de proteção, função de informação, função de interface ou supérfluo (RAUSAND; OIEN, 1996). Para tanto, as falhas que afetam o desempenho de uma função essencial devem ser prioritárias para a análise. De acordo com Rausand e Oien (1996), as funções podem também ser classificadas de *on-line* (o término ou o

não atendimento da função on-line é chamada de falha evidente) ou de *off-line* (o término ou o não atendimento da função off-line é chamado de falha oculta).

2.5.4 Mecanismo de falhas de um item

Mecanismo de falha é definido como um processo físico, químico ou outro que leva à falha através de causas das falhas (RAUSAND, OIEN, 1996). Uma interpretação comum desse termo é considerá-lo como a causa imediata de falha no nível mais abaixo de um sistema, conforme a figura 10 do item 2.5.7 a seguir. Segundo Rausand e Oien (1996) são exemplos de mecanismos de falhas a oxidação, corrosão, desgaste, endurecimento, variação de temperatura, entre outros.

2.5.5 Causa de falhas

As causas de falhas são eventos que geram ou provocam o aparecimento do modo de falha (HELMAN; ANDERY, 1996). Pode também ser definidas como as circunstâncias, durante o projeto, manufatura ou uso, que conduz à falha (RAUSAND; OIEN, 1996).

De acordo com Rausand e Oien (1996), não é suficiente ater-se ao nível dos mecanismos de falha para se conseguir possíveis soluções para as falhas em um determinado item. Citam como exemplo o mecanismo de desgaste de uma peça, que pode ser resultado de um material mal especificado (falha de projeto), utilização fora da especificação (falha por uso errado), pouca manutenção ou lubrificação inadequada (falha por manutenção errada).

Portanto, essas causas podem estar relacionadas a falhas de projeto, de execução, de uso inadequado, ou falha na manutenção. Para os citados autores, essas são as chamadas causas fundamentais ou as causas raiz, a partir das quais ações devem ser realizadas para se evitar as referidas falhas e suas recorrências. A causa raiz é usualmente empregada para descrever as razões básicas de uma condição indesejável. Caso a causa raiz seja eliminada ou corrigida, consegue-se prevenir a ocorrência de defeitos (JOSEPHSON; HAMMARLUND, 1999). Almeida *et al.* (2006) observam que a causa de falha é a parte necessária da informação para evitar a falha ou a sua reincidência.

Josephson e Hammarlund (1999) reiteram que as causas de falhas constituem a razão da existência de defeitos nos produtos. Os mesmos autores comentam que podem existir várias causas para um mesmo erro ou falha, e que uma determinada falha pode surgir a partir de uma combinação de várias causas ou em forma de cadeia (causas sucessivas). Segundo Hans *et al.* (2007), falhas num produto da construção é muitas vezes causada por uma sucessão de degradações geradas por diferentes causas, constituindo-se em uma dificuldade em prever as manifestações patológicas na fase de projetos.

De acordo com Rausand; Oien, (1996) e Márquez; Herguedas (2004), as causas de falhas podem ser classificadas em relação ao ciclo de vida de um item, dividindo-se em:

- Falha de projeto;

- Falha do material: essa falha pode ser inerente ao material ou induzida pelo uso inadequado;
- Falha na manufatura ou fabricação: por não-conformidade durante a manufatura de acordo com o projeto ou falha na especificação do processo de manufatura;
- Falha por envelhecimento: inerente ao item, isto é, com a passagem do tempo aumenta a probabilidade de ocorrência de falhas;
- Falha por uso inadequado: quando se excede a capacidade do item, com a aplicação de uma carga superior ao qual o item foi projetado para suportar; e
- Falha por falta de manutenção: devido à manutenção incorreta ou por pouco cuidado com o item.

2.5.6 Efeito de falhas

Segundo Helman e Andery (1995) os efeitos das falhas são as formas como os modos de falhas afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente, ou seja, é o que o cliente pode observar. Por exemplo, o aparecimento de fissuras em um empreendimento pode afetar o conforto do usuário de várias formas entre as quais: do ponto de vista da estética, durabilidade e a estanqueidade do edifício e o constrangimento psicológico temendo pela própria segurança (IOPPI; ARRUDA, 1994; DUARTE, 1998; HOLANDA JÚNIOR, 2002).

2.5.7 Relação entre causa de falha, modo de falha e efeito de falha

A figura 10 mostra a relação entre causa de falha, modo de falha e efeito de falha em um determinado sistema, ilustrando que, num sistema dividido em seus respectivos subsistemas, um modo de falha num nível abaixo é uma causa de falha no nível mais acima, e o efeito da falha no nível abaixo corresponde ao modo de falha no nível mais acima. Cada modo de falha pode ser causado por diferentes causas de falhas, resultando em efeitos de falhas também diferentes (RAUSAND; OIEN, 1996; MÁRQUEZ; HERGUEGAS, 2004).

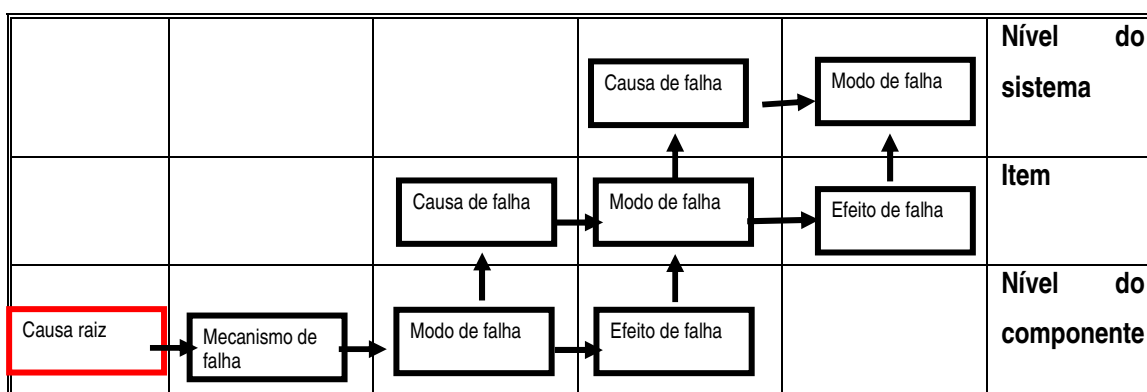


Figura 10: Relação entre causa de falha, modo de falha e efeito de falha (baseado em Márquez e Herguegas, 2004)

3 PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Neste capítulo são apresentadas primeiramente algumas recomendações técnicas para os elementos e componentes da alvenaria estrutural, relacionadas às fases de projeto e de execução. Em seguida são apresentadas algumas medidas gerenciais a serem levadas em conta na elaboração de projetos e na execução de edifícios de alvenaria estrutural. Por final, são discutidos a fissuração da alvenaria estrutural, os mecanismos de fissuração e algumas configurações típicas de fissuras em paredes executadas em alvenaria estrutural. A discussão aprofundada dessa forma de manifestação patológica se deve ao fato de ser o principal defeito diagnosticado nos empreendimentos em estudo.

3.1 COMPONENTES E ELEMENTOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

De acordo com a norma NBR 10837 (ABNT, 1989), componente é um ente que compõe os elementos da obra, constituído por material natural ou de fabricação industrial. Os principais componentes empregados na execução de edifícios em alvenaria estrutural são os blocos estruturais, argamassa, graute de enchimento e a armadura. Segundo a mesma norma, elemento é uma parte da obra suficientemente elaborada, constituída da reunião de um ou mais componentes. Fazem parte dos elementos da alvenaria estrutural a parede, a cinta, as vergas e contravergas, o coxim e a laje.

3.1.1 Blocos estruturais

Os blocos são os responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura, sendo o componente mais importante na resistência à compressão da alvenaria (RAMALHO; CORRÊA, 2003) e também que determina o módulo básico do sistema em caso de adoção de coordenação modular nos projetos (CAMACHO, 2006).

3.1.1.1 Especificações técnicas

Recomenda-se que a especificação seja feita por pavimento e que não se utilize blocos de diferentes resistências em um mesmo pavimento (PENTEADO, 2003). Os blocos devem apresentar um valor mínimo de absorção de água, abaixo do qual não haverá adequada penetração de nata de argamassa nos seus poros e um valor máximo para que não ocorra intensa retirada de água da argamassa, prejudicando a hidratação do cimento (THOMAZ; HELENE, 2000). Os blocos devem ser homogêneos, compactos, e com arestas vivas e não devem apresentar fissuras, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e durabilidade da edificação (ROMAN *et. al.*, 1999). Os blocos de concreto para alvenaria estrutural devem atender as especificações técnicas da norma NBR 6136 (ABNT, 2006), enquanto os blocos cerâmicos devem atender a norma NBR 15270 (ABNT, 2005). No caso de blocos de concreto, a NBR 8798 (ABNT, 1985)

recomenda a utilização dos mesmos somente com idades superiores a 21 dias, para evitar os efeitos da retração hidráulica inicial e irreversível.

3.1.1.2 Controle de recebimento dos blocos

A NBR 6136 (ABNT, 2006) prescreve algumas condições para a aceitação dos blocos de concreto, tais como a inspeção visual, as dimensões dos blocos, resistência à compressão, retração e ensaio de absorção de água. No caso dos blocos cerâmicos, a NBR 15270 (ABNT, 2005) especifica algumas características para a aceitação. Para tanto, Sabbatini (2003) recomenda que o controle de recebimento dos blocos deve ser feito ao longo de toda a execução da alvenaria, incluindo a resistência à compressão característica dos blocos de concreto e cerâmico, o coeficiente de variação da resistência à compressão dos blocos e as características dimensionais e geométricas. Todas estas características devem ser avaliadas por lotes, sendo que de cada lote de blocos cerâmicos devem ser retirados 13 blocos e no caso de blocos de concreto depende do tamanho do lote. O cálculo da resistência à compressão característica deve atender a metodologia recomendada pelas respectivas normas. Segundo Sabbatini (2003), os blocos não podem ser liberados para uso antes de passarem por esse controle tecnológico.

3.1.1.3 Armazenamento dos blocos

Segundo a NBR 7895 (ABNT, 1985), os blocos devem ser armazenados preferivelmente de modo a serem empregados na ordem cronológica de recebimento, isolados do solo de modo a evitar contaminação por umidade ou materiais presentes no mesmo. As pilhas devem ter altura máxima de 2,0 m e comprimento ou largura máxima de 5,0 m, devendo ser protegidas de chuvas. Segundo Thomaz e Helene (2000), um bom acondicionamento facilitam a integridade dos blocos e o transporte até os pavimentos onde serão assentados.

3.1.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento é o elemento de ligação dos blocos de alvenaria em uma estrutura única (ROMAN *et al.* 1999) e possui a função básica de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre os blocos de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água nas edificações (HENDRY; KHALAF, 2001; RAMALHO; CORRÊA, 2003). Normalmente composta de cimento, cal, areia e água, a argamassa deve reunir boas características, tais como trabalhabilidade, resistência à compressão, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções, (ROMAN *et al.* 1999; RAMALHO; CORRÊA, 2003). Além disso, a argamassa de assentamento dos blocos deve promover uma adequada aderência entre blocos e auxiliar na dissipação de tensões, de modo que sejam evitadas fissuras na interface bloco-argamassa e garantir o desempenho estrutural e a durabilidade esperada da parede de alvenaria (SABBATINI, 2003).

3.1.2.1 Especificação técnica

A NBR 8798 (ABNT, 1985) especifica as condições mínimas para a dosagem não experimental da argamassa. O tipo de argamassa a ser utilizada depende da função que a parede vai exercer, das condições de exposição da parede e do tipo de bloco que será utilizado. Nem sempre uma argamassa mais resistente é a mais indicada, isto é, não deve ser utilizada uma argamassa com resistência à compressão maior que a necessária para atender as exigências do projeto (ROMAN *et al.*, 1999).

De acordo com Prudêncio (2003), nos dias atuais se utiliza muito a argamassa industrializada principalmente em função da necessidade de racionalização de canteiros e de garantia de homogeneidade e qualidade. Mas, segundo o mesmo autor, este material normalmente possui aditivos incorporadores de ar na sua constituição, o que pode levar a uma variação de resistência e trabalhabilidade dependendo do tipo de misturador e o tempo de mistura.

3.1.2.2 Controle de recebimento ou de aceitação

Segundo Sabbatini (2003), deve-se realizar o controle de aceitação da argamassa, visando a garantir a uniformidade das suas características, seja quando ela é produzida inteiramente no canteiro, seja quando ela é produzida em usina ou pré-misturadas. Esse controle da uniformidade de produção é feito pela dispersão dos resultados de resistência à compressão axial, usando o coeficiente de variação. Caso a argamassa seja produzida em obra, os cuidados com o seu desempenho devem ser redobrados, uma vez que também se deve controlar os materiais para a sua composição. Em caso de se optar por utilizar argamassa industrializada, a escolha do fabricante deve ser rigorosa.

3.1.3 Graute de enchimento

Segundo a NBR 8798 (ABNT, 1995), o graute é um elemento para o preenchimento dos vazios dos blocos e canaletas de concreto para a solidarização da armadura a estes componentes e aumento da capacidade portante. Graute tem como função o aumento da área de seção transversal dos blocos aumentando a capacidade da alvenaria à compressão ou permitir que as armaduras combatam as tensões de tração e evitar a corrosão da armadura (RAMALHO; CORRÊA, 2003; SABBATINI, 2003).

3.1.3.1 Especificação técnica

Segundo a NBR 10837 (ABNT, 1989), o graute deve ter resistência característica maior ou igual a resistência característica na área líquida dos blocos. No caso de blocos de concreto essa resistência é em torno de duas vezes a resistência característica do bloco, isso devido à resistência do bloco ser relacionada à área bruta com índice de vazio em torno de 50%. O graute deve possuir elevada trabalhabilidade para preencher todos os vazios dos blocos. Roman *et al.* (1999) comentam que dependendo do módulo de finura, a relação água/cimento pode estar entre 0,8 e 1,1.

3.1.3.2 Controle de recebimento ou de aceitação

Recomenda-se no controle de aceitação o controle de uniformidade da produção do graute (SABBATINI, 2003). Conforme a NBR 8798 (ABNT, 1985), o parâmetro de controle deve ser a resistência à compressão, obtida pelo ensaio de corpos-de-prova cilíndricos. Segundo a essa mesma norma, imediatamente antes do grauteamento, os vazios verticais ou canaletas devem ser saturados para evitar a excessiva absorção da água do graute.

3.1.3.3 Grauteamento

Segundo a NBR 8798 (ABNT, 1985), grauteamento é um conjunto de operações de preparo dos vazios e canaletas, lançamento adensamento e cura do graute. Sabbatini (2003) salienta que no processo de grauteamento alguns cuidados são essenciais: os vazados devem estar sem rebarbas de argamassa e nas dimensões mínimas recomendadas (50x70 mm); a limpeza dos furos deve ser feita através das aberturas na base do espaço a ser preenchido; o lançamento do graute deve ser feito em altura limitada podendo ser a primeira a partir da altura do peitoril ou mesmo a cada fiada de bloco; a vibração, de preferência, deve ser manual; e o prazo mínimo de grauteamento deve ser de 24 horas após a execução da alvenaria. Quanto ao lançamento do graute, Roman *et al.* (1999) salienta que é recomendável sempre que possível grautear de fiada em fiada, ou pelo menos em duas vezes, uma até meio pé-direito e a outra ao se atingir a última fiada. Este procedimento diminuirá a possibilidade de ocorrência de vazios nos alvéolos dos blocos.

3.1.4 Parede de alvenaria estrutural

Pela NBR 10837 (ABNT, 1989), parede é definida como um elemento laminar vertical, apoiado de modo contínuo em toda a sua base, com comprimento maior que cinco vezes a espessura. Quando estrutural tem a função de suportar outras cargas além do seu peso próprio. As paredes de alvenaria localizadas nas fachadas dos edifícios têm também a função de propiciar estanqueidade à água (THOMAZ; HELENE, 2000).

3.1.4.1 Recomendações técnicas de projeto

Em edifícios de alvenaria estrutural, a coordenação modular é uma prerrogativa do projeto (DUARTE, 1999), sendo que nessa fase devem ser previstos todos os encontros de paredes, aberturas, pontos de graute e ferragem, ligação laje/parede, caixas de passagem, colocação de pré-moldados e instalações em geral (CAMACHO, 2006). Na coordenação modular as juntas verticais a prumo devem ser evitadas sempre que possível, uma vez que elas podem representar pontos de menor resistência e de surgimento de fissuras (CAMACHO, 2006).

De acordo com Sabbatini (2003), os encontros das paredes são os pontos mais importantes devido à concentração de tensões e da transferência de cargas de uma parede para outra. Por isso, o autor recomenda que a união das paredes de alvenaria estrutural deva ser realizada preferencialmente por interpenetração com os blocos contra-fiados. No caso de isto não ser possível, admite-se a união por reforço metálico, desde que seja eficaz para evitar fissuras e permitir a distribuição de esforços entre as paredes. Para este caso pode-se adotar

como solução telas de aço galvanizadas eletrossoldadas ou estirados, posicionadas nas juntas de argamassa, ou grampos metálicos em “U” imersos em pilaretes totalmente grauteados, obtidos pelo preenchimento dos vazios contíguos (THOMAZ; HELENE, 2000; SABBATINI, 2003). Nos encontros entre paredes em L, T ou em cruz é sempre desejável as juntas em amarração e recomenda-se o emprego de blocos especiais, com cumprimentos ou formas adaptadas para essas ligações (THOMAZ; HELENE, 2000).

3.1.4.2 Recomendações técnicas de execução

A elevação das paredes deverá ser feita mediante um projeto de produção que especifique com precisão a posição dos blocos, as técnicas de união entre paredes, a amarração entre fiadas, os detalhes construtivos, posição e características dos vãos (THOMAZ; HELENE, 2000).

É recomendável que o assentamento da alvenaria não seja feito sob chuva. No caso de interrupção dos trabalhos por causa desta, a alvenaria recém executada deverá ser protegida, para que os vazados não sejam cheios de água (SABBATINI, 2003). O referido autor realça que eflorescências em alvenarias cerâmicas e de concreto e fissuras de retração em alvenarias de blocos de concreto são decorrentes, principalmente, pela não obediência desta exigência. Recomenda ainda que a alvenaria de blocos de concreto não seja molhada durante a etapa de assentamento, enquanto que a alvenaria cerâmica poderá ser umedecida para facilitar o assentamento.

Roman *et al.* (1999) recomendam que deve-se evitar rasgos nas paredes de alvenaria para a passagem de tubulações para instalações, uma vez que além de implicar em desperdícios, maior consumo de materiais e de mão-de-obra implica em insegurança sob o ponto de vista estrutural pela redução da sua seção resistente. Entretanto, de acordo com Sabbatini (2003), o corte de paredes para o embutimento de pequenos trechos pode ser admitido, desde que sejam respeitados os limites de comprimento e profundidade definidos e previstos em projeto, conforme a figura 11.

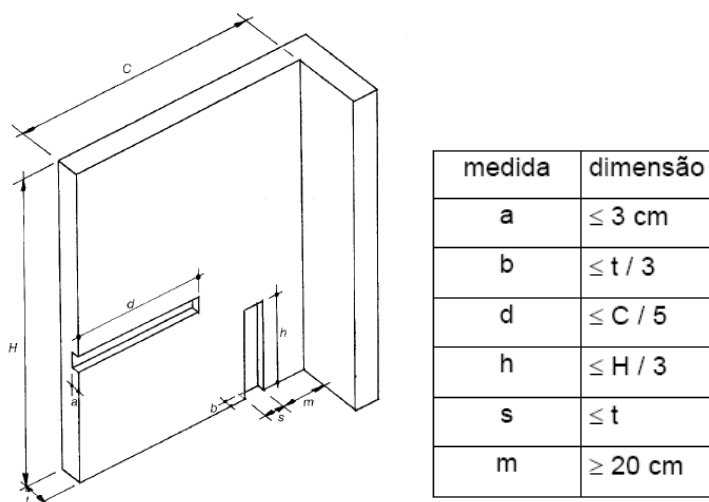


Figura 11: Dimensões máximas dos cortes admitidos em paredes estruturais (SABBATINI, 2003)

Em casos de necessidade de cortes nas paredes, sejam para o embutimento de trechos de ramais das instalações, para alojar quadros e caixas de eletricidade ou outra finalidade, estes somente podem ser feitos com ferramenta elétrica de corte apropriada, equipada com discos diamantados (SABBATINI, 2003).

A execução das paredes deverá ser feita com as tolerâncias e a precisão especificadas de modo a que a qualidade final do edifício seja obtida na execução da estrutura. Neste sentido, é essencial que se utilize mão-de-obra treinada e especializada, que se adote um programa de controle de qualidade de execução de aceitação, sob condições especificadas de cada etapa construtiva (SABBATINI, 2003). A qualidade da parede de alvenaria executada deve ser avaliada por algumas características de qualidade importantes. Dentre as características as mais importantes para avaliação são o prumo, a planicidade, a posição e a perfeição geométrica dos vãos das paredes e o nivelamento dos referenciais de horizontalidade (peitoris e fiada de apoio das lajes), pois, em conjunto, dão uma perfeita medida da qualidade de execução dos serviços (SABBATINI, 2003).

Segundo Penteado (2003), após o assentamento da primeira fiada deve-se definir o prumo, o alinhamento e nível que as fiadas constituintes da parede deverão seguir. Para tanto é recomendável a utilização do escantilhão, pois permite simultaneamente o prumo, o alinhamento e o nível da parede quando esticada a linha de um escantilhão a outro. Paredes fora de prumo, com reentrâncias ou não alinhadas com as paredes dos pavimentos inferiores ou superiores, produzirão cargas excêntricas com a conseqüente redução na resistência.

Os eletrodutos podem ser embutidos nas paredes de alvenaria, nos vazados dos blocos. A distribuição horizontal dos mesmos poderá ser feita por embutimento nas lajes ou por embutimento em forros falsos. O embutimento nas paredes estruturais deverá ser feito preferencialmente ao longo da elevação das mesmas, isto é, o eletricista deve acompanhar o pedreiro, devendo o posicionamento dos eletrodutos constar do projeto de produção (SABBATINI, 2003).

Os ramais de água ou coleta de esgotos de banheiros, cozinhas devem ser embutidos em paredes sem função estrutural denominadas de paredes hidráulicas (THOMAZ; HELENE, 2000; SABBATINI, 2003), ou em enchimentos externos às paredes estruturais (SABBATINI, 2003). As prumadas elétricas e hidráulicas não podem ser embutidas nas paredes de alvenaria estrutural, devendo estar, preferencialmente, embutidas em “shafts” verticais, especificamente projetados para esta finalidade (THOMAZ; HELENE, 2000; SABBATINI, 2003). Nas paredes de vedação admite-se o embutimento de prumadas, devendo, no entanto, prever-se detalhes construtivos em projeto que evitem fissuras nos revestimentos. As prumadas de gás, quando embutidas, devem, ou estar posicionadas em paredes de vedação, ou em enchimentos externos às paredes estruturais (SABBATINI, 2003). Por não se admitir cortes posteriores, embutimento de aparelhos de ar condicionado em paredes estruturais deve ser previsto em projeto, pois exige o posicionamento de verga e contraverga ou de um pré-fabricado específico na parede, durante a elevação da mesma (SABBATINI, 2003).

3.1.5 Juntas de argamassa de assentamento

As juntas de argamassa têm a função de compensar irregularidades geométricas, absorver deformações de movimentações, de garantir a monoliticidade ao conjunto, distribuir adequadamente os esforços, de garantir estanqueidade e durabilidade a alvenarias (CAVALHEIRO, 2006). Thomaz e Helene (2000) complementam que essas juntas facilitam a redistribuição de tensões provenientes de cargas verticais introduzidas por deformações estruturais e movimentações higrótérmicas.

Penteado (2003) sugere que para a junta de arranque, entre a laje e a primeira fiada, seja utilizada argamassa de cimento e areia com traço em volume de 1:2,5. O autor ainda recomenda que, se a espessura da junta com a laje for superior a 3 cm, todos os blocos da parede onde isto ocorreu devem ser grauteados. Acima deste valor é recomendável que se corrija a laje, quebrando os pontos mais altos, regularizando-a.

De acordo com Roman *et al.* (1999), diversas pesquisas apontam como espessura ótima para as juntas de assentamento de argamassa de 10 mm. A norma NBR 8798 (ABNT, 1985) especifica a espessura das juntas em 10 mm com tolerância de 3 mm para mais ou para menos. Para tanto, recomenda-se que deve ser utilizado como equipamento auxiliar o escantilhão (PENTEADO, 2003). O preenchimento da junta horizontal de forma irregular ou com espessura de 16 a 19 mm pode levar à perda de cerca de 30% da resistência à compressão da parede (ARRUDA; IOPPI, 1994; ROMAN *et al.*, 1999; MAMEDE; CORRÊA, 2006). Segundo Duarte (1999) a resistência à compressão da alvenaria decresce em torno de 15% para cada aumento de 3,2 mm na espessura da junta de assentamento da argamassa, e vice-versa.

Espessuras de juntas menores que o recomendado pela norma, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não conseguiria absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades (ROMAN *et al.*, 1999). No caso das juntas verticais, a sua ausência (juntas secas) repercute na resistência ao cisalhamento da alvenaria, a resistência ao fogo, ao desempenho termoacústico, à resistência a cargas laterais e à capacidade de redistribuição das tensões desenvolvida nas paredes (ROMAN *et al.*, 1999; THOMAZ; HELENE, 2000; SANTOS, 2001). De acordo com Thomaz e Helene (2000), em nenhuma circunstância é recomendável a utilização de juntas secas na alvenaria.

3.1.6 Juntas de controle ou de movimentação

Vitaló e Franco (1998) afirmam que as juntas de controle têm a função de limitar as dimensões dos painéis de alvenaria com o objetivo de eliminar elevadas concentrações de tensões devido às deformações intrínsecas. Os mesmos autores comentam que estas deformações podem ter sua origem em movimentações higroscópicas (capacidade dos materiais de absorver e liberar água), modificando o volume quando varia o conteúdo de umidade; em variações de temperatura; ou em processos químicos, como reações de expansão de materiais presentes nas juntas e ou blocos. De acordo com Duarte (1999), as juntas de controle ou de movimentação podem ser classificadas em:

- **Juntas de contração ou de retração:** são juntas utilizadas na alvenaria de blocos de concreto para acomodar movimentos devido à retração das paredes. Servem para dissipar tensões e evitar fissuras nas paredes de alvenaria. Essas juntas podem ser construídas com argamassas fracas, de baixo módulo de elasticidade. São juntas verticais existentes somente nas paredes de alvenaria, não necessitando interromper lajes ou vigas sobre as quais as paredes estão construídas (DUARTE, 1998).

De acordo com Duarte (1998), Roman *et al.* (1999) e Thomaz e Helene (2000) as juntas de retração e expansão devem ser inseridas sempre que houver mudanças na direção ou na espessura das alvenarias, sempre que as paredes forem muito longas, nos pontos em que há variação brusca da altura da parede e ao lado de colunas ou de reforços de paredes. O espaçamento entre as juntas verticais de controle depende do tipo de alvenaria, mas geralmente não devem exceder a 15 metros para alvenaria de blocos cerâmicos, 9 metros para blocos sílico-calcários e 6 metros no caso do uso de blocos de concreto (HENDRY; KHALAF, 2001).

- **Juntas de expansão:** esse tipo de junta se mostra necessário para a alvenaria de blocos cerâmicos não rebocados na face externa. Têm a função de acomodar as expansões do material cerâmico devido à absorção de umidade. Devem ser construídas com material flexível, pois são juntas que se fecham de forma irreversível.
- **Juntas horizontais ou deslizantes:** são empregadas na interface entre lajes e paredes e têm a função de não permitir que as deformações e movimentações das lajes transmitam esforços às paredes em que estão apoiadas. Servem para desvincular as lajes das paredes, são recomendadas por Duarte (1999) que sejam utilizadas em todos os pavimentos nas edificações de alvenaria estrutural, especialmente nos apoios das lajes nos últimos pavimentos, onde os efeitos da movimentação por variação de temperatura e retração são maiores. O material que constitui essa junta de movimentação pode ser de neoprene, teflon, manta asfáltica, ou camada dupla de manta de PVC (THOMAZ; HELENE, 2000). A figura 12 mostra um exemplo de detalhe da junta deslizante.

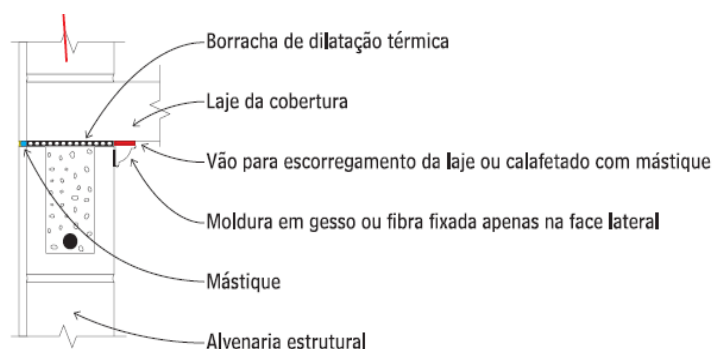


Figura 12: exemplo de um detalhe de junta deslizante entre paredes e a laje de cobertura (TECHNE 99, 2005)

Segundo Roman *et al.* (1999), na execução das juntas de controle devem ser observados os seguintes procedimentos: fazer a junta contínua em toda a altura da parede e preenchê-la com material deformável para que os movimentos ocorram livremente. Quanto às juntas de expansão, devem ser mantidas limpas de argamassa e resíduos, não devem ser pintadas, devendo ficar visíveis e destacadas nas paredes (DUARTE, 1999). O mesmo autor recomenda ainda que as juntas de movimentação ou de controle devam estar alinhadas com as juntas estruturais da construção.

3.1.7 Juntas de dilatação

Diferentemente das juntas de controle, as juntas de dilatação seccionam todos os elementos da construção como as paredes, lajes, vigas e pilares (DUARTE, 1999) e têm a função de evitar o aparecimento de fissuras devido à variação de temperatura e outras deformações que a estrutura está sujeita (ROMAN *et al.*, 1999). De acordo a norma NBR 10837 (ABNT, 1989), a distância máxima entre juntas de dilatação deve ser de 24 metros, em edifícios de alvenaria estrutural não-armada, e 30 metros em edifícios de alvenaria estrutural armada.

3.1.8 Vergas e contravergas

De acordo com a NBR 10837 (1989), verga é o elemento estrutural colocado sobre vãos de aberturas não maiores que 1,20 m, a fim de distribuir as tensões concentradas nas paredes adjacentes aos vãos. Segundo Sabbatini (2003), o comprimento do apoio nas paredes das vergas e contravergas deve ser determinado em função do vão de abertura. Conforme Mamede e Corrêa (2006), são elementos estruturais essenciais em uma edificação, visto que evitam o surgimento de manifestações patológicas indesejáveis, como as fissuras em regiões próximas às aberturas. Tais elementos promovem a distribuição das tensões concentradas nos cantos e a absorção de trações horizontais nessas aberturas (MAMEDE; CORRÊA, 2006). São, em geral, executadas em concreto armado moldado no local ou pré-fabricado.

As contravergas, segundo Sabbatini (2003) devem ultrapassar a lateral do vão em pelo menos $d/5$ ou 30 cm (o mais rigoroso dos dois, onde “d” é o comprimento da janela) e as vergas o apoio lateral deve ser de no mínimo de $d/10$ ou 10 cm (o mais rigoroso dos dois, onde “d” é o comprimento da porta ou da janela). Durante a execução, recomenda-se que a concretagem das contravergas deva ser realizada juntamente com o levante da alvenaria (PENTEADO, 2003).

3.1.9 Cinta de amarração

A NBR 10837(ABNT, 1989), define cinta como um elemento construtivo estrutural, apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes ou às vergas da aberturas, e que transmite cargas para as paredes resistentes, tendo função de amarração. Penteado (2003) realça que a função principal da cinta de amarração é a de consolidar as paredes para facilitar a transmissão de esforços horizontais provenientes das lajes e dos esforços verticais oriundas das paredes dos pavimentos superiores.

3.1.9.1 Recomendações técnicas de projeto

A NBR 10837(ABNT, 1989) recomenda que devem ser previstas cintas contínuas em todas as paredes externas e internas solidárias com as lajes e que absorvam as cargas horizontais.

3.1.9.2 Recomendações técnicas de execução

Sabbatini (2003) sugere que, na finalização das paredes de um pavimento, deve ser executada uma cinta de concreto, armada, contínua, moldada no local, solidarizando todas as paredes, podendo ser executada com blocos especiais, tipo canaleta, ou com formas. A sua execução deve preceder a montagem das formas de laje ou do posicionamento das peças pré-fabricadas no caso de a laje incorporar componentes pré-fabricados.

De acordo com Penteado (2003), durante a execução da cinta, a falta de nível dificulta a construção da laje e pode deixar o teto do pavimento desnivelado, tornando necessário aumentar a espessura do seu revestimento (PENTEADO, 2003). O perfeito nivelamento de todas as fiadas e, principalmente, o das canaletas da cinta é de fundamental importância. Nivelar a fiada das canaletas por espessamento excessivo de junta de argamassa sob as mesmas não é permitido, pois induz a tensões de tração no topo dos blocos da fiada anterior, diminuindo a capacidade portante da alvenaria (PENTEADO, 2003).

3.1.10 Lajes

As lajes têm a função de aplicar cargas verticais às paredes, amarrar a estrutura e distribuir as cargas horizontais (ROMAN *et al.*, 1999). São elementos muito importantes na alvenaria estrutural, pois transmitem às paredes resistentes a pressão do vento existente nas paredes da fachada. As lajes são diafragmas, admitindo-se que somente ocorram deformações em seu plano próprio (DUARTE, 1999). Este último autor observa que, como diafragmas, têm a função de transmitir as cargas horizontais às paredes.

3.1.10.1 Recomendações técnicas de projetos

As lajes de cobertura podem vir a se movimentar por efeito de deformação térmica, podendo causar fissuras na alvenaria, nos revestimentos, ou qualquer prejuízo ao desempenho das paredes (BASSO *et. al.* 1997, DUARTE, 1999). Segundo Sabbatini (2003), o detalhamento da união da laje de cobertura com as paredes e da técnica executiva para evitar manifestações patológicas deve constar do projeto de produção. Nessa interface são admitidas juntas de movimentação no encontro paredes lajes, desde que as mesmas tenham total estanqueidade e que o revestimento seja acabado mediante frisos ou mata-juntas adequados (SABBATINI, 2003). Além disso, segundo Thomaz e Helene (2000), outros cuidados devem ser tomados, podendo optar-se pelo sombreamento e ventilação dos áticos e isolamento térmica da laje de cobertura. Soluções mais eficazes exigem a inserção de juntas de dilatação na laje. Para evitar grandes solicitações às paredes em função da retração do concreto da laje de cobertura, caso não sejam previstas juntas de dilatação definitivas, poderá ser adotada uma junta de retração (THOMAZ; HELENE, 2000).

3.1.10.2 Recomendações técnicas de execução

A escolha e execução das lajes devem ser feitas considerando-se não apenas o desempenho estrutural, como também os efeitos das suas deformações (SABBATINI, 2003). O mesmo autor afirma que uma deficiente execução das lajes pode resultar em fissuras na alvenaria e nos revestimentos, prejudicando o desempenho e a durabilidade da estrutura, bem como comprometendo o desempenho estrutural do edifício.

É necessário ter vários cuidados com o escoramento das lajes. De acordo com Sabbatini (2003), o escoramento deve ser mantido sem mudanças de posição por um determinado período, dependendo do tipo de laje e do carregamento transitório como o peso dos blocos estocados sobre a laje. Conforme o referido autor, lajes inteiramente moldadas no local deverão obedecer à exigência da NBR 6118 (2003) de escoramento por 21 dias. Outros tipos de lajes devem ser mantidas escoradas por um período tal, de modo a que o carregamento dos blocos, utilizados na execução das paredes de um pavimento, seja distribuído por três lajes sucessivas (a laje sobre a qual está sendo executada a alvenaria e as duas lajes inferiores) (SABBATINI, 2003).

As lajes devem ser curadas, para de evitar deformações excessivas, seja por carregamento instantâneo ou por efeito de fluência. As lajes integralmente moldadas no local devem atender a recomendação da NBR 6118 (ABNT, 2003) de 7 dias de cura úmida. Para outras lajes, a capa de cobertura deverá ser curada por, no mínimo, três dias (SABBATINI, 2003). No caso das lajes maciças moldadas no local ou as pré-moldadas em que a capa é concretada na obra, Penteado (2003) recomenda que se deve tomar extremo cuidado com o nivelamento da sua superfície. Quanto às lajes de contrapiso, segundo Sabbatini (2003), é recomendável que o assentamento da alvenaria somente poderá ser feito sobre bases de concreto niveladas e adequadamente resistentes. O referido autor ainda recomenda que não se deve assentar a alvenaria diretamente sobre baldrame, sem que o piso térreo esteja executado. A marcação da primeira fiada só poderá ser iniciada após 16 horas do término da concretagem da laje.

3.2 PROJETO E EXECUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL – ALGUNS ASPECTOS GERENCIAIS

3.2.1 Projetos de alvenaria estrutural

Ohashi e Franco (2001) comentam que uma gestão ineficaz do processo de projeto pode causar muitos problemas, podendo comprometer a qualidade de execução da obra, além de causar atrasos no seu andamento. Segundo Souza e Abiko (1997), para assegurar a qualidade da solução e da descrição do projeto, é necessário controlar a qualidade do seu processo de elaboração

3.2.1.1 Coordenação de projetos de alvenaria estrutural

A coordenação de projeto, na perspectiva de Franco (1992), pode ser entendida como a atividade que dá suporte ao desenvolvimento dos projetos. O autor realça que o objetivo primordial desta atividade é de que os projetos sejam elaborados de forma que atendam aos objetivos do empreendimento, proporcionando à fase de execução a qualidade e eficiência esperadas.

Ohashi e Franco (2001) salientam que no processo construtivo em alvenaria estrutural é imprescindível a coordenação e compatibilização de projetos desde o início do processo, para que sejam gerenciadas as interferências e as inter-relações entre os subsistemas, garantido assim a qualidade do empreendimento. Existe uma forte interdependência entre os vários projetos de alvenaria estrutural que fazem parte de uma obra (arquitetônico, estrutural, instalações), pois a parede além da função estrutural é também um elemento de vedação e pode conter os elementos de instalações quaisquer, pelo que o projeto deve ser racionalizado como um todo (CAMACHO, 2006).

Ohashi e Franco (2001) realçam ainda que a interligação entre as diversas modalidades de projeto que compõem um empreendimento em alvenaria estrutural necessita de um fluxo de informações sistematizado de modo a facilitar o trabalho do coordenador e dos projetistas, garantindo projetos realmente compatibilizados e com um nível de qualidade que satisfaça às necessidades do cliente e às exigências da produção. Nesse contexto o responsável pelo projeto deve identificar as interferências e as inconsistências entre todos os projetos que fazem parte do projeto executivo geral, resolvendo conflitos de modo que não ocorram improvisações na fase de execução da obra (CAMACHO, 2006). Segundo o mesmo autor, é também nessa fase que o projetista estrutural deve optar pelo modelo que melhor represente a estrutura, considerando sua interação com os demais projetos.

3.2.1.2 Compatibilização de projetos de alvenaria estrutural

Um fator fundamental a considerar na fase de projeto é a compatibilização entre os projetos arquitetônicos, estrutural, elétrico, hidro-sanitário e de incêndio (PRUDÊNCIO, 2003). O mesmo autor comenta que o processo de projeto inicia-se com o ajuste das medidas das peças, visando à definição da modulação e passando para o desenho da planta da primeira fiada, que permite a execução de uma primeira versão dos projetos estruturais e instalações prediais, iniciando-se assim a compatibilização entre os mesmos.

De acordo com Parsekian e Furlan Junior (2003) para a compatibilização entre os projetos existe a necessidade de uma postura ativa dos projetistas no conhecimento e detalhamento das soluções executivas, e também uma grande interação entre eles, sendo que cada um deve propor e aceitar opiniões de outros especialistas sobre o projeto de sua especialidade. Tomando em consideração que as paredes do edifício de alvenaria estrutural devem atender aos requisitos arquitetônicos e estruturais simultaneamente, e ter em conta de que existe uma forte interação entre esses dois projetos (PARSEKIAN; FURLAN JUNIOR, 2003). Conforme estes autores, os distintos subsistemas devem ser compatibilizados, pois soluções para as instalações hidráulicas e elétricas que

incluam a execução de rasgos em paredes ou improvisações não são admitidas uma vez que comprometem a segurança da edificação.

Devido a não ser permitida qualquer quebra em paredes estruturais, projetos de alvenaria estrutural devem ser mais completos e compatibilizados, em relação a projetos de vedações verticais para outros tipos de obras, pois nesse caso o projeto estrutural só é possível após a modulação das paredes e a solução das instalações (PARSEKIAN; FURLAN JUNIOR, 2003).

3.2.1.3 Projeto executivo

O projeto executivo é importante na medida em que a utilização apenas dos projetos arquitetônicos e estruturais pode causar problemas de entendimento na obra, uma vez que não apresentam todas as informações necessárias à execução das alvenarias (ROMAN *et. al.*, 1999). Segundo estes autores, este projeto deve traduzir as soluções de projeto para uma linguagem adequada à equipe de produção, garantindo que as intenções dos projetistas sejam claramente interpretadas na obra. Neste sentido, os desenhos devem retratar fielmente cada parede do edifício, incluindo o posicionamento individual de cada bloco, além dos reforços estruturais, tubulações e pontos de instalação neles inseridos (PENTEADO, 2003). Roman *et. al.* (1999) comentam que a falta de detalhes e a ambigüidade na interpretação das informações do projeto podem criar vários problemas, tais como atraso nos prazos, retrabalhos para a correção de erros e a diminuição da produtividade.

Para Penteado (2003), os projetos executivos normalmente utilizados são: as plantas da primeira e segunda fiadas, planta de locação e elevações. Entre outras informações, esses projetos devem conter cortes, informações técnicas dos materiais a serem utilizados, detalhes-padrão de amarrações, detalhes das vergas e contravergas, detalhes de passagens de tubulações e localização de pontos elétricos e hidráulicos, pontos a serem grauteados e amarrações com ferros (ROMAN *et. al.*, 1999).

3.2.2 Execução de edifícios em alvenaria estrutural

A fase de execução da obra deve incorporar soluções racionalizadas para a organização da produção, incluindo a organização do canteiro de obra, a elaboração de um planejamento e programação eficaz, o treinamento e a motivação da mão-de-obra, o uso racional de ferramentas e equipamentos, e o controle da qualidade da produção baseada na padronização dos métodos e técnicas produtivas, através de procedimentos (FRANCO, AGOPYAN, 1994). Penteado (2003), salienta que a qualidade da execução do empreendimento, também depende principalmente da qualidade dos fornecedores de materiais, dos equipamentos, do controle no recebimento e da qualidade na execução de cada etapa, conforme os procedimentos, e de uma mão-de-obra qualificada.

3.2.2.1 Padronização de técnicas construtivas

Para uma melhoria das técnicas e métodos construtivos é essencial a padronização das tarefas para todo o subsistema, ou seja, deve haver uma única forma de executar a alvenaria para todo o edifício. Conforme Roman *et al.* (1999), a padronização permite reduzir o número de materiais e componentes a serem utilizados na obra, aumentar a eficiência através da aprendizagem e simplificar a compra e os cuidados de armazenamento e uso dos materiais (ROMAN *et al.*, 1999).

Franco e Agopyan (1994) afirmam que o controle da qualidade só pode ser exercido se existir uma especificação clara e compreensível, tanto pelo controlador como pelo executor, daquilo que deve ser executado. O treinamento da mão-de-obra também só tem sentido a partir da uniformização das técnicas construtivas.

3.2.2.2 Procedimentos construtivos

A execução das alvenarias deve basear-se em procedimentos técnicos que estabelecem o processo de execução incluindo a forma de locação das paredes (ângulos, modulação dos blocos), os detalhes de amarrações entre paredes, a forma de elevação dos cantos e marcação das fiadas, a disposição das armaduras horizontais e verticais (emendas), a forma de assentamento de marcos e contra-marcos (THOMAZ; HELENE, 2000).

Os procedimentos construtivos devem ser elaborados visando ao aumento da racionalização, através do incremento da construtibilidade, bem como à diminuição da probabilidade de ocorrência de falhas durante a execução. Tais procedimentos empregados devem ser coerentes com o nível de profissionalização e treinamento dos operários (FRANCO, AGOPYAN, 1994). De acordo com Vitaló e Franco (1998), a definição dos procedimentos de execução da alvenaria estrutural deve abranger todo o sistema, e ser coerente com a forma de produzir de cada empresa e com o nível de profissionalização e treinamento, buscando utilizar equipamentos mais simples possíveis.

3.2.2.3 Controle de execução da parede de alvenaria estrutural

O controle de execução das alvenarias estruturais deve compreender a qualidade dos componentes de alvenaria (integridade, regularidade dimensional e resistência mecânica); controles geométricos (posicionamento de vãos, verticalidade dos umbrais, prumo e planeza das paredes, nível, espessura e preenchimento das juntas); bitola e disposição de armaduras verticais e horizontais; vergas e contravergas; posicionamento de eletrodutos e caixas de luz (THOMAZ; HELENE, 2000).

De acordo com Vitaló e Franco (1998), para um controle eficaz da execução, os seguintes pontos são essenciais: fazer uma revisão detalhada das especificações e detalhes antes do início de cada serviço; controlar a produção das atividades de forma coerente com a capacidade da mão-de-obra e dos meios físicos deixados à disposição para a produção; incentivar a realização de atividades repetitivas na forma de linhas de produção; aplicar de forma sistemática inspeções de qualidade na produção.

Thomaz e Helene (2000) comentam que uma atenção especial deve ser dada ao controle do prumo e nível das paredes. Conforme a NBR 8798 (ABNT, 1985), o objetivo do controle de produção é avaliar uma ou mais propriedades do elemento ou componente produzido a intervir no processo de produção para manter essa(s) propriedade(s) dentro do limites considerados satisfatórios. A mesma norma recomenda algumas tolerâncias dimensionais na produção das paredes, conforme a figura 13.

Fator		Tolerância
Junta horizontal	Espessura	± 3 mm
	Nível	± 2 mm/m e ± 10 mm no máximo
Junta vertical	Espessura	± 3 mm
	Alinhamento vertical	± 2 mm/m e ± 10 mm no máximo
Alinhamento da parede	Vertical (tolerância máx. 25 mm na altura da edificação)	± 2 mm/m e ± 10 mm no máximo por piso
	Horizontal	± 2 mm/m e ± 10 mm no máximo
Superfícies superiores das paredes portantes	Variação no nível entre elementos de piso adjacentes	± 1 mm/m
	Variação no nível dentro da largura de cada bloco isoladamente	$\pm 1,5$ mm

Figura 13: tolerâncias dimensionais (NBR 8798,1985)

3.2.2.4 Mão-de-obra, ferramentas e equipamentos

A qualidade da alvenaria estrutural muito depende da qualificação da mão-de-obra empregada na sua execução (DUARTE, 1999; HENDRY; KHALAF, 2001). Entretanto, segundo Roman *et al.* (1999), o treinamento dos trabalhadores é pouco incentivado, sendo comum nas obras a falta de mão-de-obra qualificada, problema este que é agravado pela elevada rotatividade e acidentes do trabalho e pela insatisfação no desempenho de suas funções. Os mesmos autores sugerem o desenvolvimento de programas de treinamento de mão-de-obra, iniciando-se com a conscientização dos trabalhadores, de todos os níveis, da fase de planejamento até a execução da obra, visando a aumentar não só a qualidade, mas também a produtividade.

Os equipamentos e ferramentas adequadas têm uma importância singular na execução de qualquer serviço (ABCP, 2004), tendo grande impacto na produtividade e qualidade na execução de edifícios em alvenaria estrutural. Assim, é importante que os profissionais estejam orientados sobre a melhor maneira de utilizá-las (ROMAN *et al.*, 1999). Roman *et al.* (1999) e ABCP (2004) sugerem as seguintes ferramentas e equipamentos: masseiras metálicas, carrinhos especiais para transporte de blocos e argamassas, escantilhão, esquadro (60cm x 80cm x 100cm), régua com bolha (nível e prumo), a régua metálica de 2 metros, nível a laser e alguma alternativa para um preciso espalhamento da argamassa, tais como a meia-cana ou a palheta.

3.3 FISSURAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

As fissuras constituem um estado patológico bastante comum em estruturas de alvenaria, uma vez que os materiais e componentes que a compõem são frágeis e apresentam baixa resistência à tração (HOLANDA JÚNIOR, 2002). É sabido que a alvenaria resiste bem a tensões de compressão, o mesmo não acontecendo com relação às tensões de tração, flexão e de cisalhamento (HELENE e THOMAZ, 2000). As interfaces entre as unidades e a argamassa constituem superfícies bastante suscetíveis à separação, uma vez que a resistência à tração nesses locais é muito pequena. Segundo Duarte (1998), as fissuras em alvenaria são causadas por tensões de tração que ocorrem na direção ortogonal ao esforço atuante. Esse último autor ainda complementa que esses esforços podem ser de compressão agindo em direção ortogonal, por esforços de cisalhamento ou por tração direta. Segundo Thomaz (1998), além das tensões de tração, flexão e de cisalhamento, outro fator que influi na fissuração é a heterogeneidade, resultante da utilização conjugada de materiais diferentes (componentes de alvenaria e argamassa de assentamento), com propriedades diferenciadas, tais como a resistência mecânica, o módulo de deformação longitudinal e o coeficiente de Poisson.

Sahlin (1974) e Hendry e Khalaf (2001) enfatizam que a principal causa de aparecimento de fissuras na alvenaria é o movimento diferencial dos diferentes materiais e componentes de construção. Duarte (1998) realça que é importante considerar que os materiais de construção dilatam e se contraem, sendo necessário prover o prédio de meios para permitir estes deslocamentos, reduzindo as tensões de tração a níveis aceitáveis (DUARTE, 1998). Essas movimentações podem ser da própria parede de alvenaria, ou por movimentações de outros elementos construtivos adjacentes: lajes, vigas ou pilares da estrutura de concreto armado, elementos constituintes das fundações, componentes diversos de coberturas, pisos, forros e esquadrias (HOLANDA JÚNIOR 2002). Se tais movimentos são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e os componentes da construção, provavelmente ocorrerão fissuras devido às tensões geradas (SAHLIN, 1974; THOMAZ 1998).

Em painéis de alvenaria, as fissuras podem se apresentar nas direções horizontal, vertical, diagonal ou uma combinação destas (GRIMM, 1988). O mesmo autor complementa ainda que as fissuras verticais ou diagonais podem seguir uma linha reta, atravessando blocos e juntas, ou podem ter aspecto escalonado, passando pelas juntas, conforme ilustrado na figura 14 a seguir. As fissuras se manifestam de forma reta quando a resistência à tração do componente de alvenaria é igual ou inferior a resistência à tração da argamassa e se apresentam de forma escalonada quando o componente tem resistência à tração superior a da argamassa (THOMAZ, 1990).

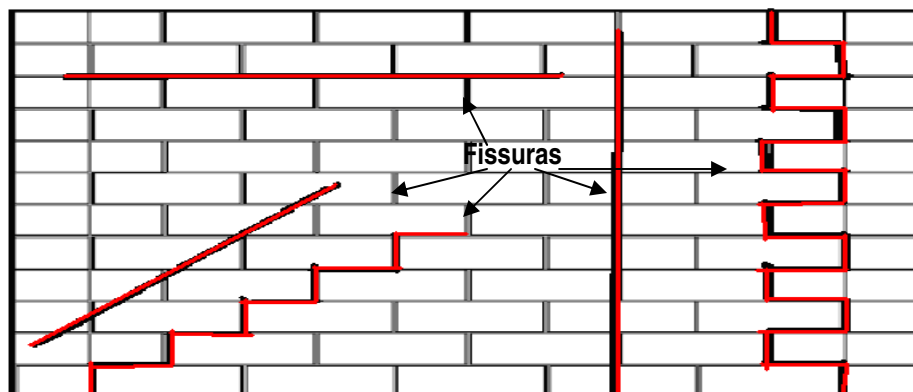


Figura 14: as diversas direções de fissuras em paredes de alvenaria (baseado em Grimm, 1988)

São vários os mecanismos das movimentações diferenciais em componentes e elementos construtivos que podem causar fissuras nas paredes de alvenaria, entre os quais recalque de fundações, recalques diferenciais, variações de temperatura, retração de blocos ou de outros elementos de concreto, sobrecarga de compressão, expansão por umidade, deformação dos elementos da estrutura de concreto armado, reações químicas, detalhes construtivos incorretos, congelamento, vibrações, explosões, terremotos (SAHLIN, 1974, GRIMM, 1988, THOMAZ 1990, DUARTE, 1998; HENDY; KHALAF, 2001). Entretanto, segundo Dal Molin (1988), identificar as causas de fissuração nas construções não constitui em uma tarefa muito fácil, pois envolve várias áreas de conhecimento, entre as quais a física, química, engenharia estrutural e mecânica dos solos. No caso da alvenaria, a dificuldade em diagnosticar as causas é ainda maior por se tratar de um material com comportamento resistente ortotrópico⁷, e muito dependente da qualidade da execução (DUARTE, 1998). Na visão deste último autor, esta dificuldade pode ser exemplificada pela ocorrência de um recalque diferencial com distorção angular, que pode originar fissuras em direções e configurações diferentes ao longo das paredes do edifício.

Hendry e Khalaf (2001) realçam que as causas de fissuração na alvenaria são complexas e o seu diagnóstico requer experiência considerável, assim como um bom entendimento dos processos físicos envolvidos. Os mesmo autores observam que a fissuração, assim como outras formas de manifestação patológicas podem ser originadas de deficiências no projeto, falhas na execução, ou nas condições de serviços, ou ainda numa combinação destes.

⁷ De acordo com Popov (1978) apud Santos Neto (2006), a alvenaria é um material ortotrópico, isto é, possui propriedades que são diferentes nas direções longitudinal, radial e transversal, ou seja, nas três direções ortogonais, constituindo-se num caso especial de anisotropia. Anisotropia é definida como ter propriedades mecânicas distintas em diferentes direções, com relação aos seus planos cristalográficos.

3.4 MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE FISSURAS EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL E SUAS CONFIGURAÇÕES TÍPICAS

Dentre os mecanismos de formação de fissuras nas paredes, são abordados neste item os mais comuns como: recalque de fundações, sobrecarga de carregamento à compressão, variação de temperatura, retração de blocos de concreto ou outros elementos de concreto, expansão por umidade e deformação dos elementos da estrutura de concreto armado.

3.4.1 Recalque de fundações

As fissuras causadas por recalque de fundações tendem a se localizarem próximas ao pavimento térreo da construção, mas dependendo da gravidade do recalque e do tipo de construção, o grau de fissuração nos pavimentos superiores pode ser quase tão intenso quanto no pavimento térreo (DUARTE, 1998).

Essas fissuras, segundo Holanda Junior (2002), geralmente se desenvolvem em direção vertical ou diagonal, apresentando variação da abertura ao longo do comprimento. Segundo Duarte (1998), as construções em alvenaria são rígidas e difíceis de acomodar deformações devido à posição e geometria das paredes de alvenaria na forma de placas verticais e estas são mais suscetíveis a fissurar frente à menor deformação ocorrida devido à baixa resistência à flexão e ao cisalhamento da alvenaria.

Segundo Thomaz (1990), o recalque diferenciado pode ser proveniente de vários fatores: falhas de projeto, rebaixamento de lençol freático, falta de homogeneidade do solo ao longo da construção, consolidações diferenciadas de aterros e influência de fundações vizinhas. O mesmo autor observa que esses fatores provocarão recalques que por sua vez geram fissuras inclinadas em direção ao ponto onde ocorreu o maior recalque. Também os carregamentos desbalanceados, particularmente no caso de sapatas corridas ou vigas de fundação excessivamente flexíveis, poderão provocar o surgimento de fissuras de outras configurações nas alvenarias estruturais.

A figura 15 a seguir ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações.

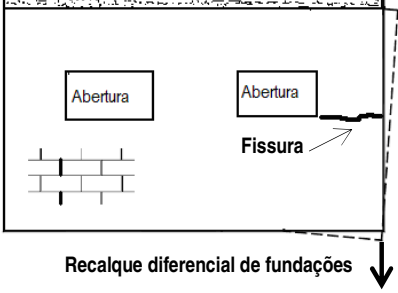
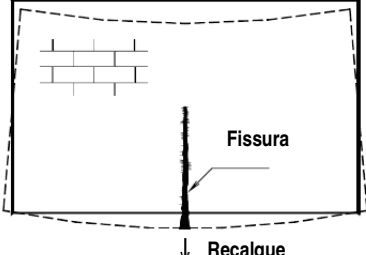
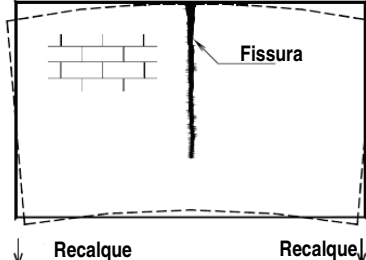
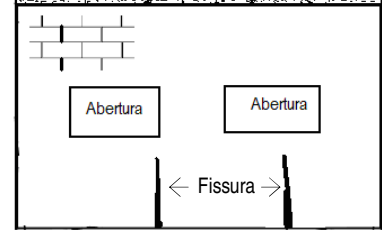
RECALQUE DE FUNDAÇÕES	CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Recalque diferencial de fundações</p> <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura horizontal junto ao peitoril da janela</p>	<p>Essa fissura pode ser causada pelo recalque diferencial de fundações com distorção angular, em caso de alguma falha na fiada horizontal próximo ao peitoril da janela (DUARTE, 1998).</p>
 <p>Recalque</p> <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras verticais em meio às paredes</p>	<p>Fissura vertical na base da alvenaria causada pela deformação da viga de fundação (GRIMM, 1988)</p>
 <p>Recalque</p> <p>Recalque</p> <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras verticais em meio às paredes</p>	<p>Fissura vertical no topo da alvenaria causada pelo recalque diferencial de fundações com maior amplitude nas extremidades (GRIMM, 1988). Também pode ser causada por deformação de balanços.</p>
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissuras verticais nas paredes junto ao solo</p>	<p>De acordo com Duarte (1998) essas fissuras podem ser causadas por ruptura das fundações superficiais provocadas por recalque de fundações com distorção angular. Normalmente apresentam maior abertura junto ao nível do solo.</p>

Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações

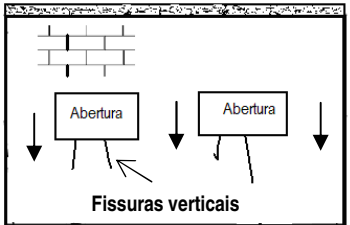
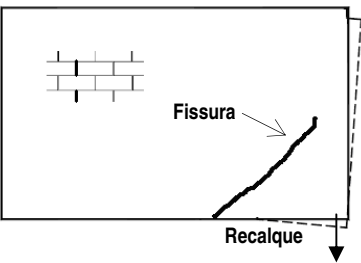
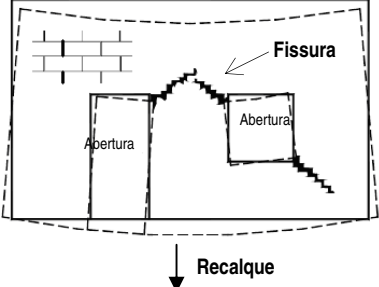
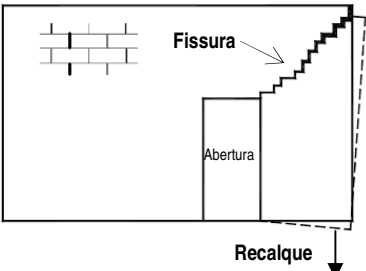
RECALQUE DE FUNDAÇÕES	CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura vertical sob os vãos de abertura</p>	<p>Essa forma de fissura pode ser causada pelo movimento diferencial das fundações ou por fundação contínua solicitada por carregamento desbalanceado provocando flexão negativa dos peitoris (SAHLIN, 1974; THOMAZ 1990, DUARTE 1998).</p>
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir dos cantos das paredes</p>	<p>As fissuras nos cantos das paredes podem surgir devido ao recalque diferencial de fundações por falha na homogeneidade do solo (THOMAZ, 1990; DUARTE 1998).</p>
 <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir das aberturas nas alvenarias</p>	<p>As fissuras inclinadas partindo das aberturas nas alvenarias devido ao recalque de fundações de maior amplitude no centro (GRIMM, 1988).</p>
 <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir das aberturas nas alvenarias</p>	<p>As fissuras inclinadas em aberturas na alvenaria devido ao recalque diferencial de fundações por falta de homogeneidade do solo (GRIMM, 1988).</p>

Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações (continuação)

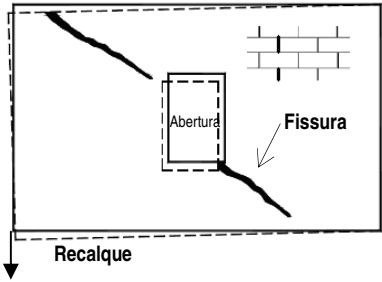
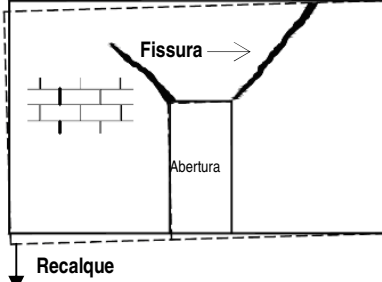
RECALQUE DE FUNDAÇÕES	CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Recalque</p> <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir das aberturas nas alvenarias</p>	<p>As fissuras inclinadas em aberturas na alvenaria devido ao recalque diferencial de fundações por falta de homogeneidade do solo (GRIMM, 1988).</p>
 <p>Recalque</p> <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir das aberturas nas alvenarias</p>	<p>As fissuras inclinadas em aberturas na alvenaria devido ao recalque diferencial de fundações (GRIMM, 1988).</p>

Figura 15: configurações típicas de fissuras devido ao recalque de fundações (continuação)

3.4.2 Sobrecarga de carregamento de compressão

Segundo Duarte (1998), o mecanismo de ruptura de paredes de alvenaria solicitadas por carregamentos verticais de compressão implica no surgimento de fissuras verticais decorrentes de esforços transversais de tração induzidas nos blocos pelo atrito da superfície da junta de argamassa com a face maior dos tijolos. De acordo com Thomaz (1998), sob ação de cargas verticais, a argamassa de assentamento apresenta deformações transversais mais acentuadas que os tijolos e os submete a um estado triaxial de tensões: compressão vertical e tração nas duas direções do plano horizontal. Os esforços laterais de tração resultantes são os responsáveis pelo aparecimento de fissuras verticais no corpo da parede (DUARTE, 1998).

Com relação às paredes, Thomaz (1998) comenta que outros fatores podem influenciar o seu comportamento, sua tendência à fissuração e sua resistência final, entre os quais: a resistência, a geometria, rugosidade superficial e porosidade do componente de alvenaria; resistência, índice de retração, poder de aderência e poder de retenção de água da argamassa de assentamento; módulo de deformação longitudinal e transversal dos componentes de alvenaria e da argamassa; espessura, regularidade e tipo de junta de assentamento; esbeltez da parede, eventual presença de armaduras, número e disposição das paredes contraventantes; amarrações,

cintamentos, disposição e tamanho dos vãos de portas e janelas; enfraquecimentos provocados pelo o embutimento de tubulações; rigidez dos elementos de fundação e geometria do edifício.

As fissuras decorrentes deste mecanismo são normalmente verticais (DUARTE, 1988; SHALIN, 1974), mas, no entanto, as fissuras podem manifestar em outras direções. A atuação das cargas distribuídas de compressão em paredes estruturais com a presença de aberturas, onde ocorrem acentuadas concentrações de tensões nos seus vértices, as fissuras podem assumir diversas configurações, sendo mais comuns as inclinadas partindo dos cantos das aberturas (THOMAZ, 1990).

No caso de atuação de cargas concentradas, sempre que não houver uma correta distribuição dos esforços através de coxins, ou outros elementos, poderão ocorrer esmagamentos localizados e formação de fissuras a partir do ponto de transmissão da carga (THOMAZ, 1990).

As solicitações de flexo-compressão em paredes de alvenaria, que podem ser provocadas por carregamentos excêntricos (SAHLIN, 1974), ou pela deformação da laje (THOMAZ, 1990), podem gerar fissuras horizontais que poderão manifestar-se na face tracionada, ou, por ruptura dos elementos, na face comprimida (SAHLIN, 1974).

A figura 16, a seguir, ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido ao carregamento de compressão.

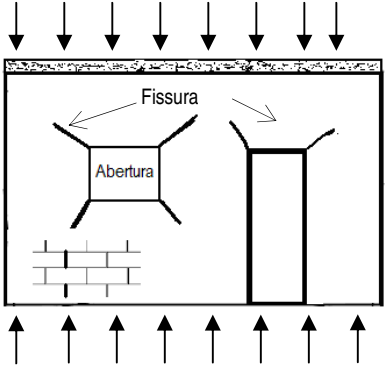
CARREGAMENTO DE COMPRESSÃO	CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (THOMAZ, 1990)</p>	<p>Fissuras inclinadas a partir das aberturas de janelas e portas</p>	<p>A manifestação dessas fissuras pode ocorrer devido à atuação de cargas de compressão com distribuição uniforme (THOMAZ 1990, DUARTE 1998).</p> <p>No caso da atuação das cargas de compressão a não presença ou subdimensionamento de vergas e contra vergas faz com que surjam fissuras a partir dos vértices das aberturas (THOMAZ, 1990).</p>

Figura 16: configurações típicas de fissuras devido ao carregamento de compressão

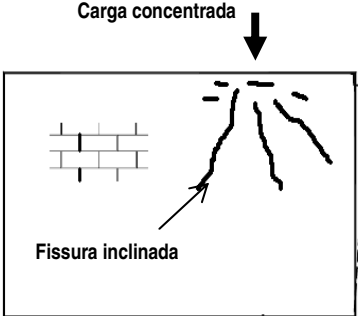
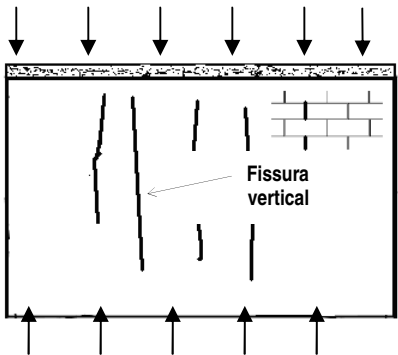
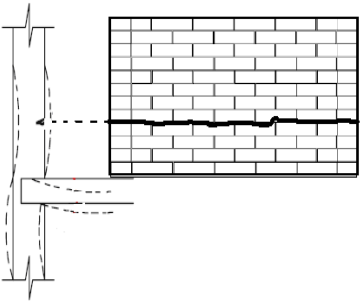
CARREGAMENTO DE COMPRESSÃO	CONFIGURAÇÕES TÍPICAS DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Carga concentrada</p> <p>Fissura inclinada</p> <p>Fonte (THOMAZ, 1990)</p>	<p>Fissuras inclinadas das paredes por cargas concentradas</p>	<p>De acordo com Thomaz (1990), essa fissura poderá ser causada por cargas concentradas de vigas apoiadas diretamente sobre a alvenaria. A mesma pode ser evitada com a utilização de coxim sob a carga concentrada (THOMAZ, 1990).</p>
 <p>Fissura vertical</p> <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura vertical ao longo das paredes devido a carregamentos</p>	<p>Essa fissura vertical se manifesta devido ao excessivo carregamento de compressão uniformemente distribuído (THOMAZ 1990, DUARTE 1998). São decorrentes de esforços transversais de tração induzidos nos tijolos pelo atrito da junta de argamassa com a face maior dos tijolos (DUARTE, 1998).</p>
 <p>Fonte (THOMAZ, 1990)</p>	<p>Fissura horizontal ao longo das paredes devido a carregamentos de flexo-compressão</p>	<p>A deformação da laje solicita a alvenaria a flexo-compressão, podendo causar fissuras na alvenaria pelo esmagamento da junta de argamassa de assentamento (THOMAZ, 1990).</p>

Figura 16: configurações típicas de fissuras devido ao carregamento de compressão (continuação)

3.4.3 Variações de temperatura

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, sazonais ou diárias que repercutem em variações dimensionais dos materiais de construção (dilatação ou contração) (THOMAZ, 1990). De acordo com Duarte (1998) paredes de fachada e lajes de cobertura aquecem-se durante o dia e se resfriam durante a noite, com conseqüentes movimentos de dilatação e contração.

A magnitude da movimentação vai depender das características físicas dos materiais, do gradiente de temperatura e da frequência com que ocorre esta variação (BASSO *et al.*, 1997). De acordo com Hendry e Khalaf (2001), os coeficientes de dilatação dos vários materiais são conhecidos, mas a variação da temperatura a ser assumida no projeto pode ser difícil de ser estabelecida, pois este depende da cor⁸, localização, exposição e orientação e dos fatores climáticos.

Se as movimentações das partes da construção, devido a esta variação de temperatura, são restringidas pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes surgem tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras (THOMAZ, 1990; BASSO *et al.*, 1997; DUARTE, 1998).

Segundo Duarte (1998), áreas mais ensolaradas, como as coberturas e as paredes externas, são mais susceptíveis ao surgimento de fissuras, pois a variação de temperatura nesses pontos é maior. Além disso, outros fatores podem influenciar no aparecimento de fissuras no último pavimento: diferença entre módulo de elasticidade e coeficiente de dilatação térmica, diferença dos materiais que compõe a laje e as paredes, diferentes solicitações térmicas a que estão submetidas à laje e as paredes, vinculação que as paredes impõem à movimentação das lajes (THOMAZ 1989 apud BASSO *et al.*, 1997).

Basso *et al.* (1997) comentam que o surgimento das fissuras está relacionado à deficiência de resistência ao cisalhamento que pode ocorrer nas alvenarias posicionadas logo abaixo dos pavimentos de cobertura. Isso devido à combinação de dois fatores: um devido às paredes abaixo da cobertura estarem sujeitas a menores compressões, por suportarem apenas a própria cobertura e outro por a laje de cobertura estar sujeita à maior solicitação térmica.

A ação da temperatura sobre a laje tem dois efeitos básicos: provoca variações dimensionais no plano da laje, (comportamento membrana) e curvaturas da superfície da laje (comportamento de placa) (BASSO, *et al.*, 1997). Segundo Duarte (1998), a movimentação na horizontal não é livre, pois há sempre uma forma de restrição devido à ligação de paredes com outras paredes, ou paredes com a estrutura do prédio ou o atrito das paredes com as lajes. Por isso o ideal seria a ligação desses elementos estruturais sem nenhuma possibilidade de interação horizontal, ou seja, com interface perfeitamente lisa, que permitisse o deslocamento horizontal relativo sem impedimentos. Segundo (BASSO *et al.*, 1997), para controlar essa fissuração deve-se reduzir o gradiente

⁸ Quanto mais escuro for o elemento construtivo, maior o aumento da temperatura durante o período de insolação, por conseqüência maior será a dilatação (DUARTE, 1998).

entre as ações térmicas atuantes na laje e nas paredes, e também reduzir a vinculação entre as paredes e as lajes. Para isso, segundo Franco (2005), algumas ações pontuais podem ser tomadas no projeto com o objetivo de diminuir a movimentação da laje e desvincular a laje da alvenaria, reduzindo a ocorrência dessas fissuras, entre os quais: sombreamento da laje com o uso de telhado, isolamento térmico da laje, seccionamento da laje com juntas de retração, fixar molduras de acabamento apenas na parede e projetar junta deslizante (junta horizontal)⁹ no apoio da laje na alvenaria estrutural. Quanto ao sombreamento, de acordo com o mesmo autor, alguns cuidados devem ser tomados, como a previsão no projeto da circulação de ar, com a entrada do ar frio por baixo e a saída do ar quente por cima, além do uso de telhas de cor claras e refletivas. As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre elementos de um componente, entre componentes de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material (THOMAZ, 1990).

⁹ De acordo com Duarte (1999), são juntas empregadas nas uniões de lajes com paredes para permitir que as deformações e movimentações das lajes não transmitam esforços para as paredes nas quais são apoiadas.

A figura 17, a seguir, ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido a variação de temperatura.

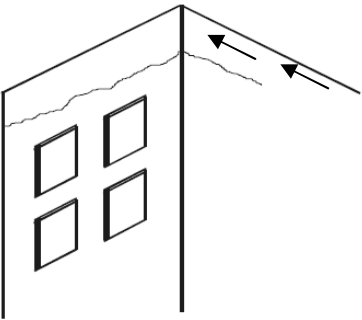
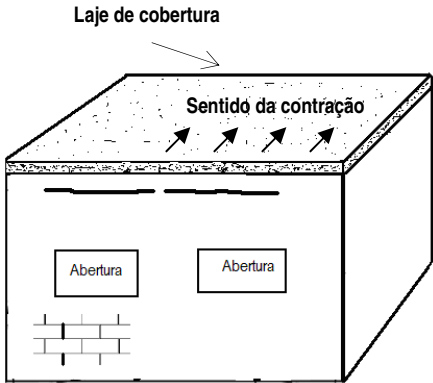
VARIACÃO DE TEMPERATURA	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura horizontal na interface entre a laje e a parede</p>	<p>A causa dessa fissura é devido a movimentos diferenciais entre a laje de cobertura do último pavimento e a parede de apoio. Essa movimentação pode ocorrer devido à dilatação das lajes de cobertura do último pavimento por causa da variação de temperatura (SAHLIN, 1974, THOMAZ, 1989; BASSO <i>et al</i>, 1997; DUARTE, 1998).</p>
 <p>Fonte (adaptado, revista Técnica, 2005)</p>	<p>Fissura horizontal próximo as lajes de cobertura (fissura em forma de linha contínua)</p>	<p>A causa dessa fissura é devido a movimentos diferenciais entre a laje de cobertura do último pavimento e a parede de apoio. Essa movimentação pode ocorrer devido à contração das lajes de cobertura do último pavimento por causa da variação de temperatura (SAHLIN, 1974, THOMAZ, 1989; BASSO <i>et al</i>, 1997; DUARTE, 1998).</p>

Figura 17: configurações típicas de fissuras devido à variação de temperatura

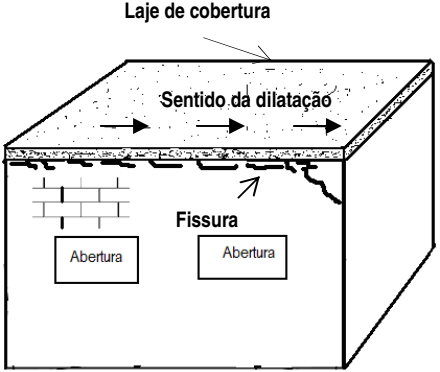
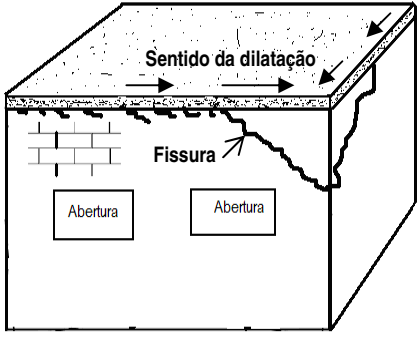
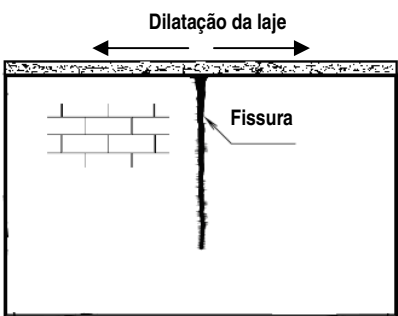
VARIACÃO DE TEMPERATURA	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (adaptado revista Técnica, 2005)</p>	<p>Fissura horizontal próximo as lajes de cobertura (fissura em forma de escamas)</p>	<p>A causa dessa fissura é devido a movimentos diferenciais entre a laje de cobertura do último pavimento e a parede de apoio. Essa movimentação pode ocorrer devido à dilatação das lajes de cobertura do último pavimento por causa da variação de temperatura (SAHLIN, 1974, THOMAZ, 1989; BASSO <i>et al</i>, 1997; DUARTE, 1998).</p>
 <p>Fonte (THOMAZ, 1990)</p>	<p>Fissuras inclinadas nos cantos das paredes</p>	<p>Essas fissuras podem ocorrer pela dilatação térmica das lajes de cobertura dos edifícios (DUARTE, 1998). Quando as paredes são muito longas enfraquecidas por aberturas as fissuras iniciam-se de forma horizontal e terminam inclinadas nas paredes transversais em direção à laje do teto.</p>
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissuras verticais em meio às paredes</p>	<p>As fissuras verticais em meios às paredes podem ocorrer devido à dilatação térmica da laje (DUARTE, 1998). Estas fissuras se manifestam com maior abertura no topo da alvenaria.</p>

Figura 17: configurações típicas de fissuras devido à variação de temperatura (continuação)

3.4.4 Retração de blocos de concreto ou de outros elementos de concreto

Vários fatores influenciam na retração de um produto à base de cimento, sendo os principais tipo e composição do cimento, natureza e granulométrica dos agregados, condições de cura, relação água/cimento (THOMAZ, 1998). Para Duarte (1998), a maior parcela da retração é causada pela perda de água que está quimicamente associada no interior do concreto. Essa perda de água provoca uma retração dos elementos de concreto do prédio que não é acompanhada pelas paredes de alvenaria.

Duarte (1998) afirma que paredes localizadas nos últimos andares dos prédios são as mais susceptíveis a serem atingidas pela retração das lajes ou da estrutura de concreto, pois a retração se associa com movimentos causados por variações de temperatura.

As fissuras nas paredes de alvenaria devido à retração podem ser causadas pela retração dos blocos de concreto ou da junta de argamassa (GRIMM, 1988), assim como pela movimentação por retração de outros elementos construtivos, como lajes e vigas, vigas de concreto armado (SHALIN, 1974; THOMAZ, 1990; DUARTE, 1998). As fissuras mais comuns são as horizontais, oriundas da contração das lajes, localizando-se principalmente nos últimos pavimentos assim como também em pavimentos intermediários (SHALIN, 1974).

Nas argamassas de assentamento, a pequena retração que pode ocorrer nas juntas horizontais é fortemente restringida pelo cisalhamento com os tijolos (DUARTE, 1998). O mesmo autor ainda comenta que a retração da argamassa é influenciada pela relação água/cimento, pela finura da areia e pelo uso de incorporadores de ar. Esta retração pode vir provocar fissuras na própria argamassa prejudicando a aderência aos componentes. Além da retração devida à perda de água (retração por secagem) dos materiais cimentícios, pode ocorrer deformações devidas à carbonatação (retração por carbonatação) (GRIMM, 1998; DUARTE, 1998).

A figura 18, a seguir, ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido à retração de blocos ou outros elementos de concreto.

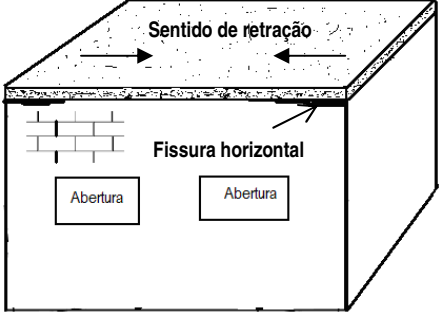
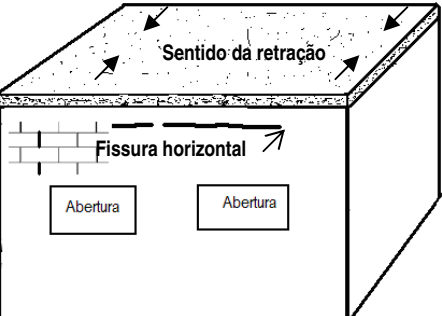
RETRAÇÃO DE ELEMENTOS DE CONCRETO	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (adaptado de DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura horizontal na interface entre a parede e a laje</p>	<p>A movimentação por retração da laje de concreto nos últimos pavimentos pela perda de água pode causar fissura nas extremidades da mesma na interface com a parede de alvenaria (DUARTE, 1998)</p>
 <p>Fonte (adaptado de THOMAZ, 1990)</p>	<p>Fissura horizontal próxima a laje de cobertura</p>	<p>A movimentação por retração da laje de concreto nos últimos pavimentos pela perda de água pode causar fissura nas extremidades da mesma na interface com a parede de alvenaria (DUARTE, 1998). Essa fissura também pode ser causada pela rotação da extremidade da laje quando sujeita a deformações no sentido vertical de cima para baixo (SHALIN, 1974).</p>

Figura 18: configurações típicas de fissuras devido à retração

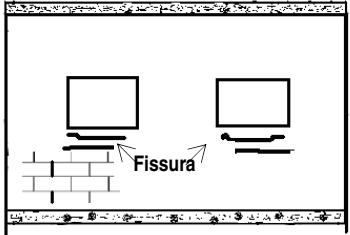
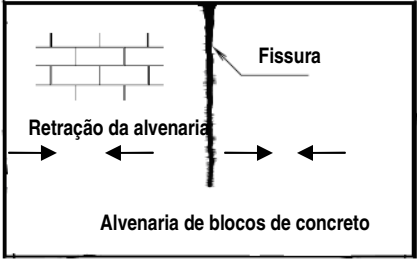
RETRAÇÃO DE ELEMENTOS DE CONCRETO	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (SHALIN, 1974)</p>	<p>Fissura horizontal em uma porção da parede em baixo a janela</p>	<p>Essa fissura acompanha a junta horizontal de argamassa em baixo da janela. Pode ser causada pela diferença de tensões entre as alvenarias em baixo e a volta das janelas pela retração diferencial por secagem entre a porção de alvenaria em baixo da janela e o restante da parede (SAHLIN, 1974).</p>
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura vertical em meio das paredes</p>	<p>Fissura vertical com maior abertura no topo da parede de topo livre devido à retração da alvenaria de blocos de concreto (DUARTE, 1998). A abertura da mesma é maior no topo, reduzindo de espessura à medida que se aproxima da base</p>

Figura 18: configurações típicas de fissuras devido à retração (continuação)

3.4.5 Expansão por variação de umidade

Os elementos cerâmicos, ao invés de apresentarem retração, podem apresentar uma pequena expansão pela incorporação de umidade após o assentamento. Essa umidade pode ter acesso aos materiais de construção, pelos seus poros, através da: umidade da execução da obra, umidade do ar ou proveniente de fenômenos meteorológicos, umidade do solo, umidade decorrente da utilização do edifício (THOMAZ 1998; DUARTE, 1998).

A absorção de umidade por materiais porosos se dá por capilaridade (THOMAZ 1998). Ao absorverem umidade, as paredes podem se movimentar em sentido contrário ao das lajes ou outros elementos de concreto a que

estejam ligadas, gerando fissuras (DUARTE, 1998). Essas fissuras se manifestam caso haja veículos que impeçam ou restrinjam as movimentações (THOMAZ 1998; HENDRY; KHALAF, 2001).

A figura 19, a seguir, ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido à expansão por variação de umidade.

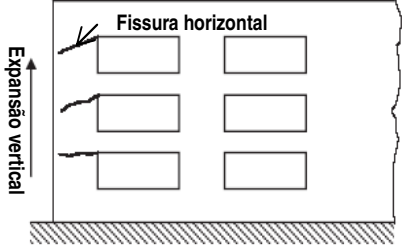
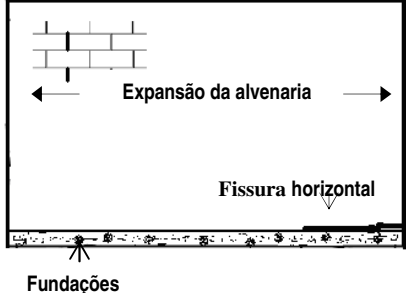
EXPANSÃO POR VARIAÇÃO DE UMIDADE	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (HENDRY, KHALAF, 2001)</p>	<p>Fissura horizontal na parede</p>	<p>De acordo com Hendry e Khalaf (2001), a expansão da alvenaria na direção vertical pode levar ao aparecimento da fissura horizontal próximo às janelas.</p>
 <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissura horizontal na base da alvenaria</p>	<p>Esse tipo de fissura pode ser causada por movimentações de expansão diferencial na parede de alvenaria de bloco cerâmico (THOMAZ, 1990).</p> <p>Segundo o mesmo autor, a expansão correrá com maior intensidade nas regiões mais sujeitas à ação da umidade, como a base de paredes (devido à ascensão da umidade do solo por capilaridade em fundações mal impermeabilizadas), cantos desabrigados e platibandas.</p>

Figura 19: configurações típicas de fissuras devido à expansão

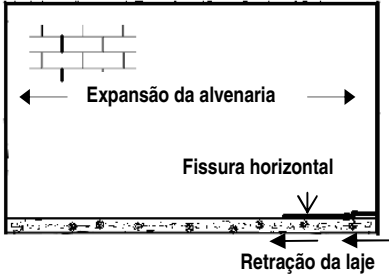
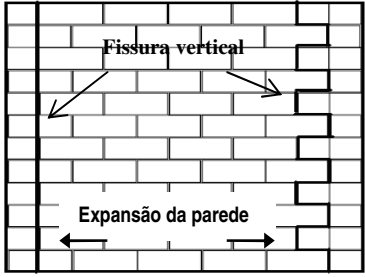
EXPANSÃO POR VARIAÇÃO DE UMIDADE	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (DUARTE, 1998)</p>	<p>Fissura horizontal na base da alvenaria</p>	<p>Esta fissura na base da alvenaria pode ser causada pela movimentação em sentidos opostos, devido à retração da laje de concreto armado e a expansão da parede de alvenaria (DUARTE, 1998).</p>
 <p>Fonte (GRIMM, 1988)</p>	<p>Fissura vertical nos cantos dos edifícios</p>	<p>A fissura vertical pode se manifestar nos cantos dos edifícios ou em encontros de paredes com deficiência na amarração ou devido à expansão nas paredes de alvenaria construídas em blocos cerâmicos (GRIMM, 1988; THOMAZ, 1990). Em função de a alvenaria ser composta por material poroso, há uma absorção de umidade, provocando a sua expansão, que gera tensões que por sua vez causam a fissura.</p> <p>Essa fissura é mais propensa a aparecer em paredes muito longas em seu comprimento, onde pode ocorrer uma expansão excessiva (THOMAZ, 1990).</p>

Figura 19: configurações típicas de fissuras devido à expansão (continuação)

3.4.6 Deformação de elementos da estrutura de concreto armado

Segundo Duarte (1998), vigas e lajes deformam-se naturalmente sob ação do peso próprio, da ação das demais cargas permanentes e acidentais e mesmo sob o efeito da retração e deformação lenta do concreto. Entretanto, de acordo com o mesmo autor, as paredes de alvenaria são extremamente rígidas para acompanhar as deformações da estrutura de concreto, criando tensões de tração que podem levar as paredes a fissurarem.

Os componentes estruturais, de acordo com (THOMAZ, 1998), admitem flechas que podem não comprometer em nada a sua própria estética, a estabilidade e a resistência da construção, mas, entretanto essas flechas podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que integram os edifícios.

As deformações que as estruturas de concreto estão sujeitas podem ser orientadas para baixo como no caso de deformações exageradas de lajes e vigas ou para cima como as bordas de lajes de coberturas sujeitas à torção (DUARTE, 1998). Essas deformações geram tensões de compressão, tração e de cisalhamento nas paredes podendo provocar fissuração (THOMAZ, 1990; DUARTE, 1998).

As fissuras decorrentes destas deformações normalmente ocorrem junto à interface entre a alvenaria e o elemento de concreto armado (DUARTE, 1998). Thomaz (1998) complementa que as fissuras surgem não somente devido à grandeza da flecha, como também de outras características como: dimensões dos blocos, tipo de junta, características do material de assentamento, dimensões e localização dos vãos inseridos nas paredes.

A figura 20, a seguir, ilustra algumas configurações típicas de fissuras devido à deformação de elementos de concreto armado.

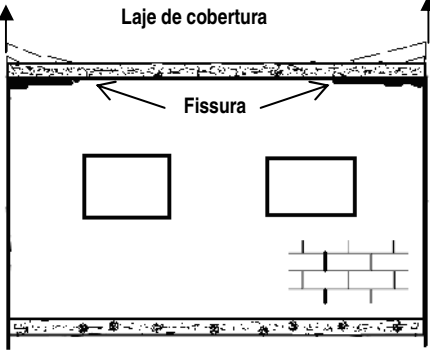
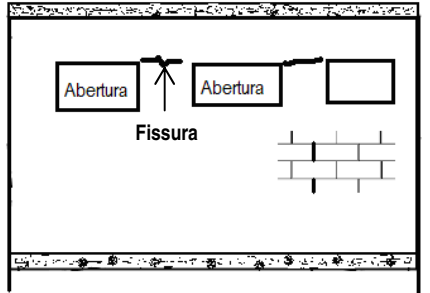
DEFORMAÇÃO DE ELEMENTOS DE CONCRETO	CONFIGURAÇÃO TÍPICA DA FISSURAS	CAUSA PROVÁVEL
 <p>Fonte (adaptado de Duarte, 1998)</p>	<p>Fissura horizontal nos cantos do edifício</p>	<p>A fissura se manifesta devido à suspensão dos cantos das lajes por deformação das lajes de cobertura (SAHLIN, 1974, GRIMM, 1988). As deformações exageradas de lajes podem ser orientadas para cima nas extremidades (cantos) das lajes de coberturas sujeitas à torção, motivando o aparecimento da fissura na interface laje e parede (DUARTE 1998).</p>
 <p>Fonte (SAHLIN, 1974)</p>	<p>Fissura horizontal próximo das janelas no último piso</p>	<p>Sahlin (1974) escreve que esse tipo de fissura pode ser proveniente do momento de flexão nas paredes externas. Esse momento surge pela deformação da laje devido ao carregamento vertical ou por retração da mesma. Esse tipo de fissura aparece mais no ultimo pavimento, porque as cargas de paredes externas são menores, assim como também a excentricidade da carga é maior, favorecendo o aparecimento de fissuras nos pontos mais fracos da parede, ou seja, próxima às janelas (SAHLIN, 1974).</p>

Figura 20: configurações típicas de fissuras devido a deformação de elementos de concreto armado

4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo descreve o método de pesquisa, incluindo a estratégia adotada, o delineamento da mesma, descrevendo as etapas da pesquisa e os dados utilizados na pesquisa.

4.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Os estudos de caso, experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos constituem exemplos de estratégias de pesquisas. Segundo Yin (2005), cada uma dessas estratégias representa uma maneira diferente de coletar e analisar provas empíricas, tendo uma lógica própria e apresenta suas vantagens e desvantagens. Sua escolha depende do tipo de questão de pesquisa, do controle que o pesquisador possui sobre o evento e se o foco é em acontecimentos contemporâneos ou históricos (YIN, 2005). Apesar de ser baseada em dados coletados em documentos, a presente pesquisa não corresponde exatamente à análise de arquivos, uma vez que, segundo Yin (2005), esta estratégia em geral é adotada quando as questões de pesquisa são do tipo “quem”, “o que”, “onde”, “quantos” e “quando”. Neste sentido, pela natureza dos dados utilizados na pesquisa, não foi possível adotar neste estudo nenhuma das estratégias citadas. A estratégia de pesquisa adotada envolveu a análise documental, realizada a partir de relatórios de especialistas e de dados de uma pesquisa anterior, relacionados ao tema de pesquisa.

Conforme apresentado no capítulo 1, no presente trabalho as questões de pesquisa são do tipo “como”, assemelhando-se em alguns aspectos a um estudo de caso. A pesquisa foi realizada a partir de dados secundários, tendo algumas fontes de pesquisa adicionais, incluindo entrevistas e discussões com especialistas em alvenaria estrutural. As fontes secundárias utilizadas foram relatórios de acompanhamento de execução de obras de empreendimentos do tipo PAR e IP, elaborados por consultores, e dados coletados da pesquisa de Richter (2007), desenvolvida nesses mesmos tipos de empreendimentos. Da pesquisa de Richter (2007) foram extraídos dados em duas fases distintas dos empreendimentos, a primeira relacionada a empreendimentos já concluídos e a outra ligada à fase de execução dos mesmos. Os dados provenientes dos relatórios são referentes a falhas detectadas durante a execução dos empreendimentos que incluem falhas de execução, falhas de projetos identificados no decorrer da construção, falhas no suprimento de materiais, algumas recomendações técnicas dos consultores e algumas boas práticas adotadas pelas empresas construtoras que foram salientadas nos referidos relatórios. Os relatórios analisados neste estudo são provenientes de três consultores, denominados de consultor A, consultor B e consultor C, todos do Estado do Rio Grande do Sul. Estes consultores, especialistas em alvenaria estrutural, acompanham e avaliam a qualidade da execução dos serviços específicos da alvenaria estrutural ao longo da produção do empreendimento, além de ministrarem treinamentos de mão-de-obra. São todos credenciados pela CAIXA e são vinculados a universidades, sendo que todos têm se envolvido em estudos acadêmicos sobre alvenaria estrutural, possuindo também vários anos de

experiência em construção de edifícios de alvenaria estrutural. Além disso, os consultores A e C são professores universitários e o consultor B é doutorando na UFRGS.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento desta pesquisa está apresentado na figura 21. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, as quais foram acompanhadas de uma revisão bibliográfica. A revisão da literatura permitiu entender o processo construtivo em alvenaria estrutural e as principais manifestações patológicas nas edificações construídas em alvenaria estrutural. O pesquisador também participou de um *workshop* sobre alvenaria estrutural e de dois cursos de alvenaria estrutural promovidos pelo Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado do Rio Grande do Sul (SINDUSCON-RS), assim como de uma jornada sobre a alvenaria estrutural realizada na cidade de Santa Maria, RS, promovida pela GPDAE (Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural) da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria). A revisão da literatura abordou também o tema da qualidade no processo de construção de edifícios e também as ferramentas de melhoria da qualidade. A seleção e a adaptação das ferramentas e técnicas de melhoria da qualidade para o presente estudo foram realizadas ao longo das duas primeiras etapas da pesquisa.

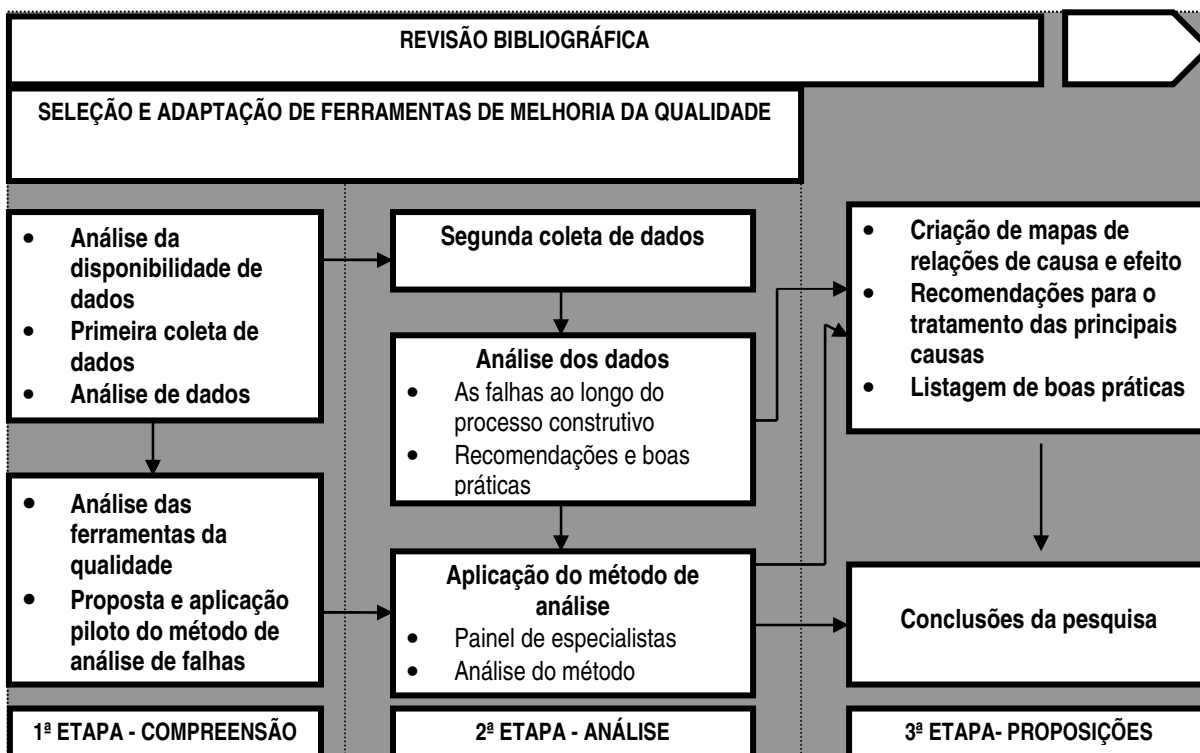


Figura 21: Delineamento da pesquisa

A primeira etapa foi dedicada principalmente à compreensão do tema e também serviu para entender as falhas no processo construtivo em alvenaria estrutural durante a execução dos empreendimentos e as possíveis formas de manifestações patológicas oriundas dessas falhas. Também as ferramentas de melhoria da qualidade

selecionadas para o estudo foram testadas através de uma aplicação piloto do método de análise das relações de causa e efeito. Nesta etapa buscou-se responder as seguintes questões: Como identificar as principais formas de manifestações patológicas nos empreendimentos do tipo PAR e IP executados em alvenaria estrutural? Quais são as ferramentas e técnicas de melhoria da qualidade mais apropriadas na identificação das relações de causa e efeito?

A etapa de análise teve como objetivo uma análise aprofundada dos dados relacionados ao tema de pesquisa seguida de uma aplicação e análise do método em discussão, com vista a responder as seguintes questões: Como identificar e priorizar as principais causas das manifestações patológicas nos empreendimentos em estudo? Como as ferramentas da qualidade podem contribuir para a melhoria da qualidade do processo construtivo de alvenaria estrutural dos empreendimentos?

A terceira etapa consistiu na apresentação de mapas de análise de causas e efeitos, sistematização de recomendações técnicas, listagem de algumas boas práticas, seguido da elaboração das conclusões do estudo.

4.3 ETAPA DE COMPREENSÃO

Essa etapa dividiu-se nas seguintes sub-etapas: (a) análise de disponibilidade, coleta e análise de dados; (b) análise de ferramentas de análise de falhas; e (c) proposta e aplicação piloto do método de análise de causa e efeito.

4.3.1 Análise de disponibilidade, coleta e análise de dados

A partir das fontes de evidências já citadas, foi feita uma análise para identificar os dados que poderiam ser utilizados no presente estudo. A análise da disponibilidade de dados serviu para averiguar a necessidade ou não de se fazer coletas de dados adicionais através da observação direta. Pela análise dos dados disponíveis concluiu-se que não era necessária uma coleta adicional, tendo em conta que havia um número bastante grande de relatórios disponíveis. Três tipos de dados puderam ser extraídos dos relatórios: falhas ao longo do processo construtivo, recomendações técnicas e boas práticas adotadas pelas empresas construtoras.

Em seguida, passou-se para a primeira coleta dos dados. Nessa etapa, primeiramente foram coletados dados dos principais defeitos ou manifestações patológicas encontradas em empreendimentos do tipo PAR e IP em estudo. Esses dados foram oriundos da dissertação do Richter (2007), sendo estes organizados em uma planilha eletrônica para gerar um gráfico de Pareto com vista a determinar prioridades em relação aos defeitos a serem analisados. A partir desse gráfico foi possível fazer uma análise dos principais defeitos (manifestações patológicas) encontrados nos empreendimentos. Além desses, foram também coletados dados referentes a falhas identificadas ao longo da execução dos empreendimentos, as recomendações e algumas boas práticas adotadas pelas empresas construtoras. Nessa coleta foi também utilizada como fonte de evidências os dados da dissertação do Richter (2007) e 22 relatórios dos consultores. Para cada empreendimento, a coleta dos dados de

falhas foi organizada em uma planilha como objetivo fazer o levantamento de todas as falhas relatadas, conforme a figura 22 a seguir.

[illegible]

Figura 22: planilha de levantamento de dados

Conforme já mencionado os dados utilizados nesta etapa foram extraídos da pesquisa do Richter (2007). Dessa fonte de evidências foram coletados dois tipos de dados: (a) dados referentes às manifestações patológicas em empreendimentos concluídos, e (b) dados relacionados a falhas detectadas durante a etapa de execução dos tipos de empreendimentos em estudo.

Richter (2007) fez um diagnóstico das principais manifestações patológicas em oito empreendimentos, totalizando um conjunto de 1.034 unidades habitacionais. Todos esses empreendimentos se localizavam no estado do Rio Grande do Sul e foram executados por cinco empresas diferentes, todas elas possuidoras de qualificação no SiQ/PBQP-H conforme ilustrado na figura 23 a seguir.

Empresa construtora	Tempo de atuação no mercado	Localização (sede)	Certificação de qualidade
A	27 anos	Canoas	Nível A pelo PBQP-H ISO 900, versão 2000
B	26 anos	São Leopoldo	Nível A pelo PBQP-H ISO 900, versão 2000
C	21 anos	Pelotas	Nível C pelo PBQP-H
D	13 anos	Santa Maria	Nível A pelo PBQP-H
E	21 anos	Pelotas	Nível C pelo PBQP-H

Figura 23: as empresas construtoras, sua localização e nível de certificação

Na época do diagnóstico, a idade dos empreendimentos variava entre 7 a 48 meses. Dos empreendimentos, seis pertenciam ao programa PAR, com altura variando entre três a cinco pavimentos e todos executados com a utilização de blocos estruturais cerâmicos. Os restantes dois eram do tipo sobrado pertencentes ao programa IP, executados utilizando blocos estruturais de concreto. A figura 24 a seguir caracteriza os empreendimentos.

Empreendimento	Tipo		Localização do empreendimento	Construtora	Idade (meses)	Tipo de bloco
	PAR	IP				
1		x	Canoas	A	12	Concreto
2		x	Canoas	A	48	Concreto
3	x		Canoas	B	18	Cerâmicos
4	x		Novo Hamburgo	B	7	Cerâmicos
5	x		Pelotas	C	12	Cerâmicos
6	x		Pelotas	C	24	Cerâmicos
7	x		Santa Maria	D	10	Cerâmicos
8	x		Santa Maria	E	7	Cerâmicos

Figura 24: características dos empreendimentos diagnosticados por Richter (2007)

Richter (2007) adotou dois critérios para a escolha dos empreendimentos estudados. Um dos critérios adotado foi a escolha dos empreendimentos com maior número de manifestações patológicas, segundo a percepção de técnicos da CAIXA e o outro critério foi baseado em empreendimentos com alguns meses de idade, conforme a figura 24.

No diagnóstico das manifestações patológicas foi adotado o seguinte critério para a quantificação das fissuras: as fissuras inclinadas, horizontais e verticais que ultrapassassem um metro em sua extensão eram divididas em uma manifestação para cada metro linear. Na coleta, foi adotada a observação direta (visual), com uma distância de aproximadamente um metro do elemento observado (parede interna) e com distância diferente de um metro no caso de parede externa.

Das 1034 unidades habitacionais dos empreendimentos analisados, foi escolhida uma amostra de 10% do número total por empreendimento. Essas unidades habitacionais da amostra foram escolhidas de forma aleatória, sendo adotados alguns critérios de estratificação, tais como: orientação solar das unidades (metade com orientação Norte/Oeste e a outra metade Sul/Leste), posição vertical (um terço das unidades do térreo, um terço nos pavimentos intermediários e um terço no último andar), distribuição por edifício (o mesmo número por edifício do empreendimento habitacional).

A fim de comparar as manifestações patológicas entre os empreendimentos estudados, Richter (2007) adotou o coeficiente CDU (coeficiente de defeitos por unidades) que é a razão entre o número de defeitos (manifestações patológicas) pelo número total de elementos. Da contagem do número de elementos, foi considerado que cada face de uma parede, teto ou piso correspondia a uma unidade. As manifestações patológicas foram agrupadas por elementos (faces externas e internas de paredes ou de lajes). O coeficiente CDU foi dividido em quatro

categorias, CDU da laje, CDU da parede interna, CDU da parede externa e o CDU médio, sendo este último obtido a partir da média aritmética entre os coeficientes obtidos por cada elemento.

Na presente pesquisa são tratadas as principais formas de manifestação patológicas nas paredes tanto externas como internas dos empreendimentos. Com base nos dados do CDU das faces externas e internas das paredes obtidos, foi possível organizá-los a fim de se saber quais as principais formas de manifestação patológicas nas paredes desses empreendimentos e suas respectivas frequências de ocorrência.

Os dados de Richter (2007) relativos à fase de construção provêm da análise das técnicas construtivas adotadas pelas construtoras para a execução dos empreendimentos. Essa análise foi feita a partir do acompanhamento de oito empreendimentos em construção no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2005 em que se adotava o processo construtivo em alvenaria estrutural. Estes empreendimentos foram executados por quatro empresas construtoras diferentes, todas elas certificadas no PBQP-H. A figura 25, a seguir, caracteriza resumidamente o tipo de empreendimento, sua localização, a empresa construtora, o número de relatórios emitidos e o tipo de blocos estruturais utilizados na execução dos edifícios. Cabe salientar que, apesar de várias visitas feitas pelo referido pesquisador nos empreendimentos em execução, o relato dos resultados finais da pesquisa encontrada em cada construtora foi considerado como um relatório único.

Empreendimento	Tipo		Localização	Empresa Construtora	Nº de relatórios	Tipo de bloco
	PAR	IP				
E1	x		Canoas	EC1	1	Cerâmicos
E2	x		Alvorada	EC1	1	Cerâmicos
E3	x		Pelotas	EC2	1	Cerâmicos
E4	x		Rio Grande	EC2	1	Cerâmicos
E5	x		Santa Maria	EC3	1	Cerâmicos
E6		x	Canoas	EC4	1	Concreto
E7		x	Canoas	EC4	1	Concreto
E8		x	Canoas	EC4	1	Concreto

Figura 25: empreendimentos do estudo do Richter (2007) e suas características

Desse trabalho foi possível coletar dados referentes a falhas durante a fase de execução e de projeto, assim como algumas recomendações e algumas boas práticas adotadas pelas construtoras.

4.3.2 Análise das ferramentas da qualidade

Dentre as várias ferramentas de melhoria da qualidade disponíveis na literatura consultada foram escolhidas inicialmente para o estudo o diagrama de Pareto, o diagrama de causa e efeito e o FMEA. As razões para a escolha dos diagramas de Pareto e de causa e efeito, dentre as sete ferramentas básicas da qualidade, foram relacionadas aos objetivos do estudo, a priorização de problemas e a análise das relações de causa efeito. Das duas ferramentas de análise de falhas, o FMEA e o FTA, com potencial para os propósitos da proposta de pesquisa, optou-se pela a escolha do FMEA, uma vez que esta se mostrava mais adequada para os objetivos da

pesquisa. Uma das características do FMEA é permitir uma análise das possíveis falhas de cada um dos componentes que compõe um determinado sistema e as suas influências no todo. Ao longo do estudo os dados foram coletados a partir de falhas detectadas durante a fase de execução dos empreendimentos, o que permitiu identificar as falhas críticas nos componentes e elementos que compõem o processo e as suas respectivas consequências. Este foi um dos fatos que levou à utilização da ferramenta. Além disso, a utilização do FTA requer uma análise de confiabilidade mediante o cálculo de probabilidade da ocorrência do evento de topo (HELMAN; ANDERY, 1995), o que não faz parte do escopo dessa pesquisa.

Por sugestão da banca examinadora do seminário de apresentação do projeto de pesquisa do mestrado, o conjunto de ferramentas a ser utilizado no estudo foi ampliado. Foram então identificadas entre as sete novas ferramentas da qualidade mais duas ferramentas da qualidade, o diagrama de relações e o diagrama de afinidade. A escolha pela utilização de mais essas duas ferramentas se deve ao fato de que se mostraram úteis para uma análise mais aprofundada das relações de causas e efeitos.

4.3.3 Proposta e aplicação piloto do método de análise

Com as ferramentas identificadas e os dados coletados até então, foi feita a primeira proposta do método de análise de causas e efeitos. Essa proposta foi submetida a uma discussão em um grupo composto por dois professores do NORIE e dois dos consultores de alvenaria estrutural e mais o pesquisador.

A referida proposta de análise era composta pelas seguintes ferramentas: (a) diagrama de Pareto, para identificar e priorizar as principais manifestações patológicas diagnosticadas; (b) o diagrama de causa e efeito para o levantamento das causas possíveis de falhas e das manifestações; (c) o diagrama de relações e de afinidades para agrupar as causas por suas naturezas ou afinidades (projeto, execução, material) e as suas respectivas inter-relações; e (d) por fim, o FMEA para avaliar os riscos de cada causa identificada. A figura 26 a seguir ilustra o seqüenciamento para a aplicação das ferramentas.

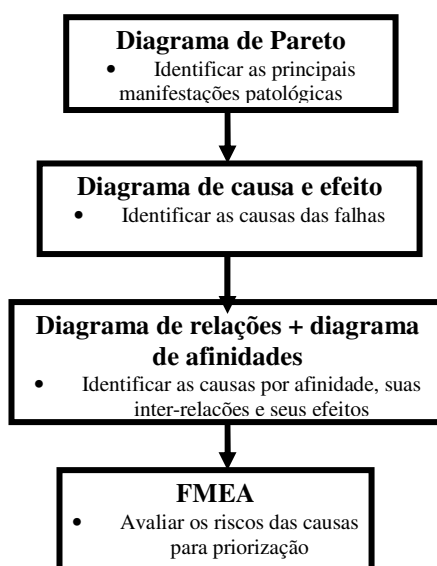


Figura 26: seqüência de aplicação das ferramentas

O principal ponto da discussão foi a aplicação e a adaptação dos diagramas de relações e de afinidade para analisar as várias causas das manifestações patológicas e as inter-relações entre estas. Para esse estudo, após análise de várias versões para a aplicação, fez-se uma adaptação dos diagramas de relações e de afinidade, combinando essas duas ferramentas para formar uma nova ferramenta, denominada no presente estudo de mapa de causas e efeito. Para compor o mapa, o diagrama de afinidade tem por finalidade organizar os dados de acordo com as suas afinidades naturais de projeto, de execução ou relacionado a materiais e o diagrama de relações fazer a inter-relação entre esses dados numa lógica de causa e efeito, conforme a figura 27. Dessa discussão foi possível fazer algumas adaptações no estudo das relações de causa e efeito, utilizando o mapa de causa e efeito.

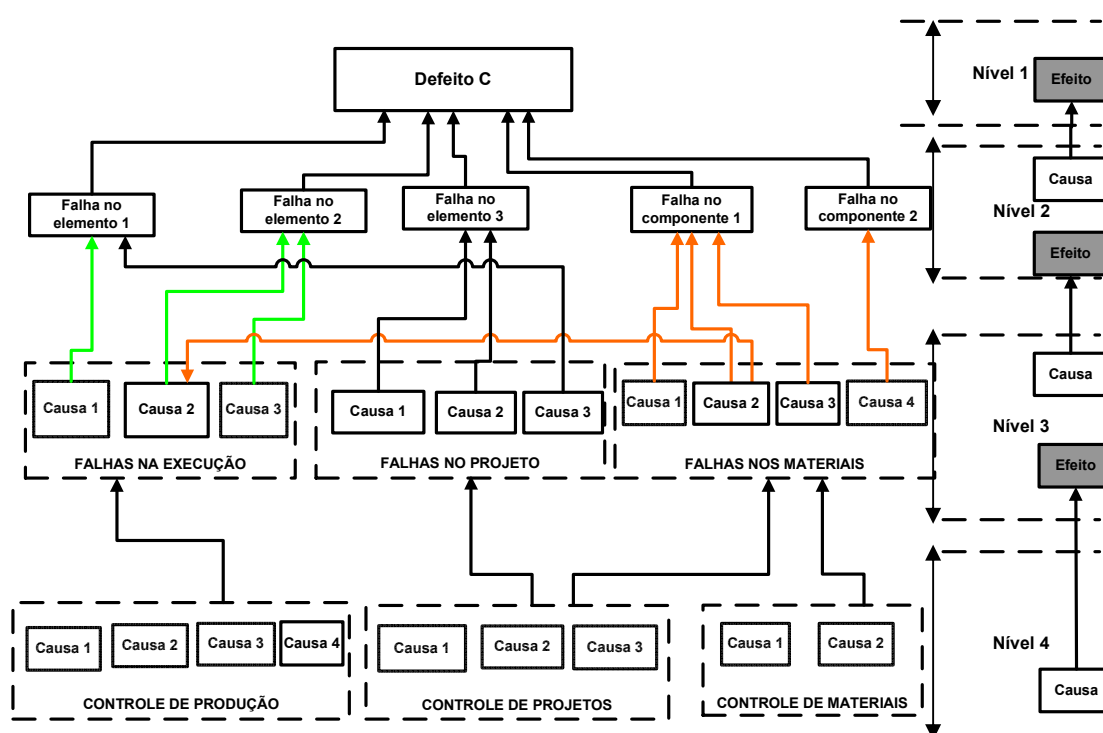


Figura 27: mapa de causa e efeito

Nessa relação de causa e efeito o mapa foi dividido em quatro níveis de análise, conforme a figura 27, sendo o nível 1, o nível do efeito final, ou seja, o nível dos defeitos diagnosticados e priorizados pelo diagrama de Pareto, e o nível 4 o nível das causas básicas ou gerenciais das falhas ao longo do processo em estudo. Dependendo do nível de análise, os níveis intermediários 2 e 3 podem ser considerados causas ou efeitos. O nível 2 representa o nível de causa ou de efeito de falhas nos componentes ou elementos construtivos da alvenaria estrutural. O nível 3 representa o nível de causa ou nível de efeito das falhas levantadas a partir das fontes de evidências.

Dando continuidade às discussões da aplicação do método, o pesquisador reuniu-se com cada um dos consultores que monitoravam as obras de construção dos empreendimentos com vista a mais uma análise das relações de causa e efeito, tendo como evidências os dados por eles fornecidos através dos relatórios.

4.4 ETAPA DE ANÁLISE

A etapa de análise foi dividida em três sub-etapas: segunda coleta de dados, análise dos dados e a aplicação do método de análise.

4.4.1 Segunda coleta de dados

Para a segunda coleta de dados o pesquisador teve como fonte de evidências relatórios dos três consultores, além da pesquisa do Richter (2007). Com base na primeira coleta na etapa de compreensão, esta segunda coleta foi mais minuciosa e foram utilizadas duas planilhas que serviram como base de dados. A primeira continuou sendo a aplicada na etapa de compreensão (figura 22) e a segunda serviu para separar os dados de falhas observadas, segundo os componentes e elementos construtivos da alvenaria, e as obras nas quais ocorriam, conforme a figura 28. Essa mesma planilha serviu de base para a coleta dos dados por empresa construtora e por tipo de bloco utilizado na construção dos empreendimentos.

FALHAS NO COMPONENTE CONSTRUTIVO 1	EMPREENHIMENTO												
Modo ou tipo de falha	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E...	TOTAL	
Modo de falha 1													
Modo de falha 2													
Modo de falha 3													
Modo de falha 4													
...													
FALHAS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO 1	EMPREENHIMENTO												
Modo ou tipo de falha	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E...	TOTAL	
Modo de falha 1													
Modo de falha 2													
Modo de falha 3													
Modo de falha 4													
...													

Figura 28: planilha de levantamento dos modos de falhas

Além dos dados referentes a falhas, foi feito também um levantamento das recomendações técnicas e boas práticas de execução registradas pelos consultores nos relatórios das visitas de monitoramento.

Por exigência da CAIXA, as empresas construtoras que executam os empreendimentos em alvenaria estrutural financiados por aquela instituição no Estado do Rio Grande do Sul devem contratar um consultor para o monitoramento da etapa de produção. Estes consultores são especialistas em alvenaria estrutural e

devidamente credenciados pela CAIXA. O monitoramento é feito através de visitas técnicas mensais nos canteiros de obras nas quais é observada a qualidade da execução. Além monitorarem a conformidade da execução dos serviços, os consultores acompanham também o controle tecnológico dos materiais de execução. Para cada visita técnica é elaborado um relatório mensal, que contém um levantamento fotográfico dos principais pontos observados.

Esses relatórios foram utilizados como fontes de dados relativos a falhas de projetos, falhas na execução de serviços e falhas quanto ao suprimento de materiais. Além das falhas, os referidos documentos contêm algumas recomendações técnicas para as construtoras bem como também o relato de algumas boas práticas que deveriam ser disseminadas no setor. Foi utilizado nesta etapa um total de 57 relatórios, os quais são referentes ao acompanhamento de 11 obras em várias cidades do Estado do Rio Grande do Sul, executados por sete construtoras diferentes. A figura 29 indica os tipos de empreendimentos (PAR ou IP), a sua localização, a construtora, o consultor que fazia o monitoramento, o número de relatórios emitidos de cada empreendimento e o tipo de bloco estrutural utilizado na execução. Observa-se que alguns dos empreendimentos foram executados por uma mesma empresa e monitorados por consultores diferentes. Todas as empresas possuíam certificação do SiAC do PBQP-H com nível A.

Empreendimento	Tipo		Localização	Empresa Construtora	Consultor	Número de relatórios	Período de monitoramento	Tipo de bloco
	PAR	IP						
E9	x		Porto Alegre	EC5	A	4	De 12/2005 a 05/2006	Cerâmicos
E10	x		Esteio	EC1	A	9	De 04/2006 a 01/2007	Cerâmicos
E11		x	Santa Maria	EC6	A	4	De 07/2002 a 12/2002	Concreto
E12	x		Santa Maria	EC2	A	5	De 01/2004 a 05/2004	Cerâmicos
E13	x		Canoas	EC4	B	5	De 10/2005 a 07/2007	Concreto
E14	x		Passo Fundo	EC7	C	6	De 03/2007 a 08/2007	Cerâmicos
E15	x		Pelotas	EC8	C	5	De 10/2005 a 06/2006	Cerâmicos
E16	x		Gravataí	EC8	C	5	De 02/2005 a 07/2005	Cerâmicos
E17	x		Canoas	EC2	C	5	De 11/2006 a 06/2007	Cerâmicos
E18	x		Canoas	EC8	C	5	De 06/2007 a 11/2007	Cerâmicos
E19		x	Garibaldi	EC8	C	4	De 10/2006 a 06/2007	Cerâmicos

Figura 29: empreendimentos monitorados pelos consultores e suas características

4.4.2 Análise dos dados coletados

Para a análise das principais formas de manifestações patológicas dos empreendimentos em estudo foi utilizado o diagrama de Pareto que permitiu verificar as principais ocorrências e suas frequências. Essas ocorrências foram as principais manifestações patológicas diagnosticadas pelo Richter (2007) nos oito empreendimentos.

Para a análise das falhas detectadas durante o acompanhamento, elas foram agrupadas por componentes e elementos construtivos, mostrando as principais falhas e as estatísticas de ocorrência nas 19 obras estudadas. Para esta análise foi utilizada como ferramentas o gráfico de barras e de Pareto. Foi realizada com o objetivo de identificar, entre os dados coletados, a ocorrência das falhas por componentes e elementos da alvenaria,

empreendimentos, relatórios, tipo de bloco utilizado e por empresa construtora visando estabelecer as possíveis relações destas com o aparecimento das manifestações patológicas.

4.4.3 Aplicação do método de análise de causa e efeito

Após a coleta de dados e a respectiva análise dos mesmos, foi realizado um painel de discussão da aplicação das ferramentas com especialistas em alvenaria estrutural. A referida discussão fez parte do método de análise proposta e teve como objetivo analisar as inter-relações das causas de falhas no processo construtivo e seus respectivos efeitos.

A literatura recomenda que na montagem e aplicação das ferramentas da qualidade, como o diagrama de causa e efeito, diagrama de relações, diagrama de afinidade e o FMEA, sejam feitas mediante um grupo composto por especialistas com visão diferenciadas do tema em discussão. O grupo de discussão nessa etapa do estudo foi então composto por seis integrantes mais o pesquisador, sendo três deles especialistas em alvenaria estrutural, um professor da disciplina de alvenaria estrutural, um professor da área de gerenciamento na construção civil e uma da área de materiais de construção. Os dois últimos são orientadores do presente trabalho. Entretanto, para facilitar e aproveitar o tempo da discussão das relações de causa e efeito foi apresentado pelo pesquisador a aplicação prévia do método, tendo como base a aplicação piloto na etapa de compreensão.

As discussões foram centradas no mapa de relações de causa e efeito, composto pelo diagrama de relações e de afinidade, conforme já apresentado na figura 27, por se considerar uma etapa importante da aplicação do método no estudo. Durante os trabalhos foram feitos vários ajustes nos mapas que serviram para adequar os termos técnicos adotados, acrescentando e suprimindo algumas causas, tendo em conta aos grupos de afinidades e as suas relações. Os trabalhos de discussão levaram uma manhã inteira e nesse período foram discutidos e analisados três mapas de causa e efeito, para os seguintes efeitos: fissuração horizontal, vertical e a inclinada nas paredes de alvenaria estrutural. O primeiro mapa analisado foi o relacionado ao efeito fissura horizontal tendo consumido maior parte do tempo da discussão, pelo tempo necessário para a compreensão do mapa e do próprio método de pesquisa. Em seguida foram analisados os outros mapas, fazendo os ajustes necessários ao longo das discussões com o grupo de trabalho.

Nesse dia de trabalho não foi possível discutir a aplicação do FMEA, para avaliar os riscos das causas tendo em conta aos seus efeitos finais nos empreendimentos em estudo. Esta etapa foi aplicada posteriormente pelo pesquisador em discussões individuais com cada um dos três consultores e especialistas em alvenaria estrutural. A aplicação do FMEA foi feita por duas vezes. Na primeira aplicação, foram considerados como efeitos, as fissuras nas paredes dos empreendimentos e como modos de falhas, os problemas detectados nos relatórios. Neste caso, as causas das falhas e os respectivos índices (vide item 2.4.5.2) foram atribuídos de forma subjetiva, a partir da percepção e experiência de cada um dos consultores, observando-se algumas diferenças discrepantes dos valores dos índices atribuídos. Partindo desse fato, o pesquisador reuniu com um professor e pesquisador vinculado ao PPGE (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção,

UFGRS) com experiência na utilização desta ferramenta, para uma discussão dos índices obtidos. Dessa discussão constatou-se que o correto seria mudar o nível de análise da relação entre causa de falha, modos de falha e efeito de falha (vide item 2.5.7, figura 10). A partir dessa mudança, foi feita a segunda aplicação do FMEA, na qual os efeitos passaram a ser considerados do ponto de vista dos usuários dos empreendimentos, conforme discutido no item 1.2. As manifestações patológicas (as fissuras) passaram a ser consideradas os modos de falhas e, as causas, os problemas identificadas nos relatórios. Neste sentido, mediante a discussão com o referido professor, os valores dos índices de ocorrência, severidade e detecção foram atribuídos de acordo com as evidências dos relatórios. Mas, apesar dessas evidências, os índices de severidade e de detecção para cada causa foram estabelecidos com alguma subjetividade, tendo em conta os seus respectivos critérios. Essa segunda aplicação foi baseada na primeira e a mesma foi então aplicada pelo pesquisador e discutido com um dos consultores e especialista em alvenaria estrutural

A aplicação desta ferramenta permitiu avaliar os riscos das causas com base nos índices de probabilidade de ocorrência das mesmas, de probabilidade de serem detectadas e o índice de gravidade de cada uma delas (vide figura 5 do item 2.4.5.2). Partindo dos índices obtidos buscou-se estabelecer uma priorização das causas, tendo em conta os seus efeitos, novamente mediante a utilização do diagrama de Pareto.

4.5 ETAPA DE PROPOSIÇÕES

A aplicação das ferramentas e técnicas de melhoria da qualidade de processos com apoio dos especialistas em alvenaria estrutural permitiram a identificação e priorização das diversas causas das falhas e suas inter-relações nos diversos níveis do processo e seus respectivos efeitos no produto final, o empreendimento em execução ou mesmo concluído. A partir das discussões foram gerados os mapas de causa e efeito para cada uma das principais manifestações patológicas nas paredes.

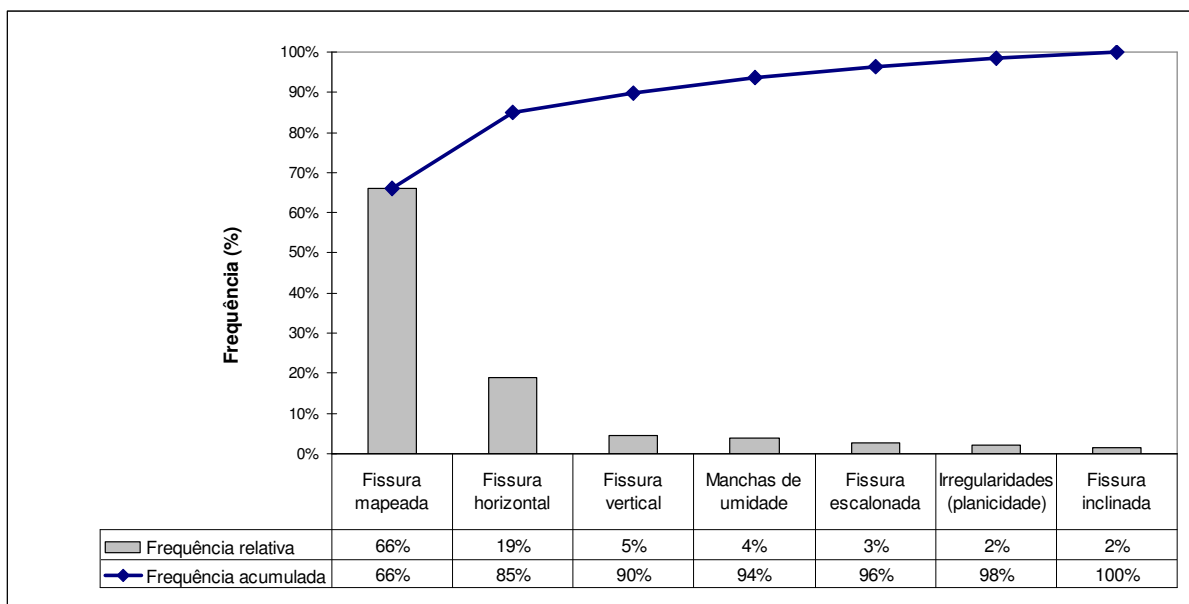
Com base nos resultados obtidos da aplicação do método de análise, nos dados obtidos e na literatura consultada, foram elaboradas recomendações técnicas para evitar as falhas ao longo do processo construtivo em alvenaria estrutural. Além das recomendações, foram também listadas algumas boas práticas adotadas por algumas das empresas construtoras ao longo do processo construtivo em alvenaria estrutural.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO

No presente capítulo são apresentados os resultados da pesquisa. Inicialmente são apresentadas as principais formas de manifestações patológicas encontradas nos empreendimentos em estudo. Salienta-se que, com base nos conceitos apresentados (vide item 2.5), estas manifestações patológicas são aqui consideradas defeitos nas edificações. Em seguida, são analisados os dados sobre as falhas observadas durante a fase de execução dos empreendimentos dos programas PAR e IP, executados em alvenaria estrutural. Por fim são apresentados os resultados da aplicação do método de análise de causa e efeito em cada uma das formas de fissuração das paredes dos edifícios, seguida de recomendações e boas práticas adotadas por algumas empresas executoras destes tipos de empreendimentos.

5.1 AS PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS PAREDES DOS EMPREENDIMENTOS DOS PROGRAMAS PAR E IP

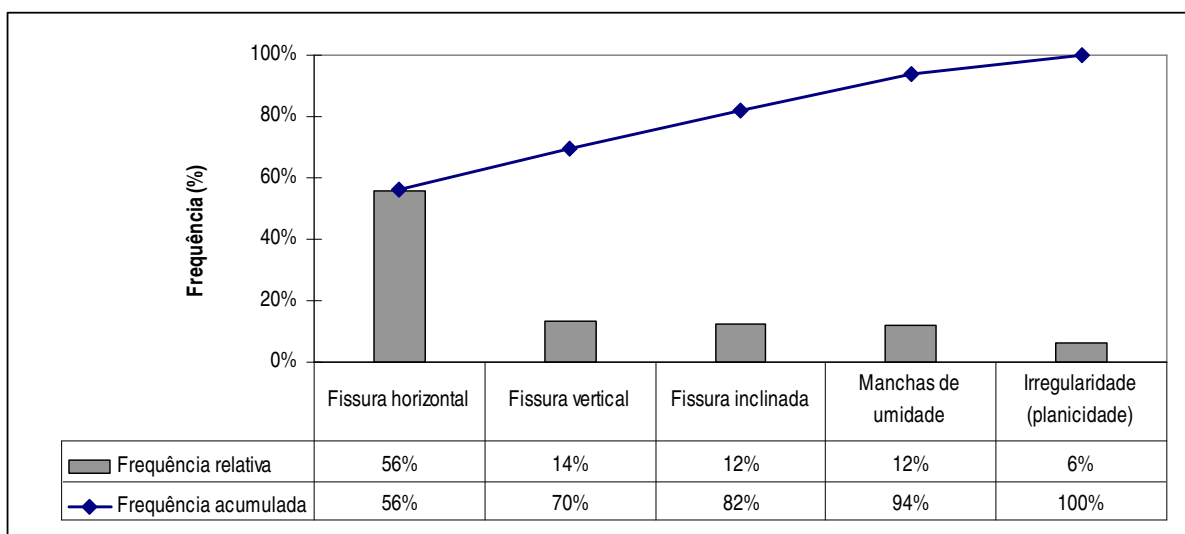
A partir do CDU obtido do diagnóstico feito por Richter (2007), nas faces das paredes dos oito empreendimentos foi elaborado um diagrama de Pareto, que classifica os diferentes tipos de manifestações patológicas na alvenaria segundo a sua frequência, conforme a figura 30.



Fonte: Richter (2007)

Figura 30: gráfico de Pareto das manifestações patológicas em oito empreendimentos

Percebe-se que a fissura mapeada foi a forma de manifestação patológica de maior ocorrência, representando um total de 66% das manifestações, seguida da fissura na direção horizontal, com 19% dos casos. Estas duas formas de fissura correspondem a 85% das manifestações patológicas nas paredes dos empreendimentos estudados. A fissura mapeada teve maior incidência nas paredes externas (RICHTER, 2007), sendo causada pela retração da argamassa¹⁰ de revestimentos. Apesar da fissura mapeada ser a manifestação patológica mais freqüente nos empreendimentos diagnosticados, esta não será abordada nesta pesquisa, uma vez que se refere ao revestimento, que não é objeto de estudo desta pesquisa. Neste sentido, foi elaborado um novo diagrama de Pareto tendo chegado aos resultados apresentados na figura 31.



Fonte: Richter (2007)

Figura 31: gráfico de Pareto das formas de fissuração diagnosticadas

A partir da figura 31, observa-se então que a fissuração das paredes constitui-se na principal forma de manifestação patológica nos empreendimentos diagnosticados, acumulando uma freqüência de 82%. Pelo princípio de Pareto (vide item 2.4.1), os restantes 18% de ocorrência (12% para manchas de umidade, e 6% para irregularidades) não constituem defeitos prioritários. Fica evidente que as fissuras horizontais e verticais são as principais formas de manifestação patológica nas paredes estruturais. A fissura horizontal representa 56% das fissuras nas paredes de alvenaria dos empreendimentos, enquanto que a fissura na direção vertical responde por 14% das formas de fissuração, seguida de fissuras inclinadas com 12% das ocorrências.

As causas que levam ao aparecimento de fissuras tanto nas direções horizontais, verticais como inclinadas podem ser as mesmas (DUARTE, 1998). Da mesma forma, conforme (GRIMM, 1988) a fissura escalonada pode

¹⁰ Segundo Thomaz (2000), esta retração é principalmente causada pelo traço inadequado da argamassa, podendo estar relacionado ao consumo de cimento na composição deste à porcentagem de finos existentes na mistura ou ao teor de água de amassamento utilizada. Há também outros fatores que podem ser causadores dessa forma de manifestação patológica tais como: a falta de aderência à base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada ou rápida perda de água devido à ventilação e insolação (THOMAZ, 2000).

se manifestar tanto na direção inclinada como na vertical acompanhando as juntas de argamassa. Por esta razão, os dados relativos a fissuras escalonadas foram agrupados aos da análise de fissuras inclinadas.

5.2 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS FALHAS DETECTADAS DURANTE A EXECUÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

Os itens a seguir apresentam os resultados da análise dos tipos de falhas observadas nos 19 empreendimentos estudados. As falhas foram agrupadas e separadas de acordo com os elementos e componentes em que eram verificadas: (a) bloco estrutural, (b) argamassa para assentamento dos blocos, (c) pontos de graute, (d) parede estrutural, (e) juntas de argamassa, (f) juntas de movimentação horizontal das lajes (ou junta deslizante), (g) junta de dilatação, (h) vergas e contravergas e (i) cinta de amarração.

5.2.1 Blocos estruturais

A figura 32 a seguir ilustra as observações feitas nos relatórios em relação ao não atendimento dos requisitos das normas (vide item 3.1.1.1).

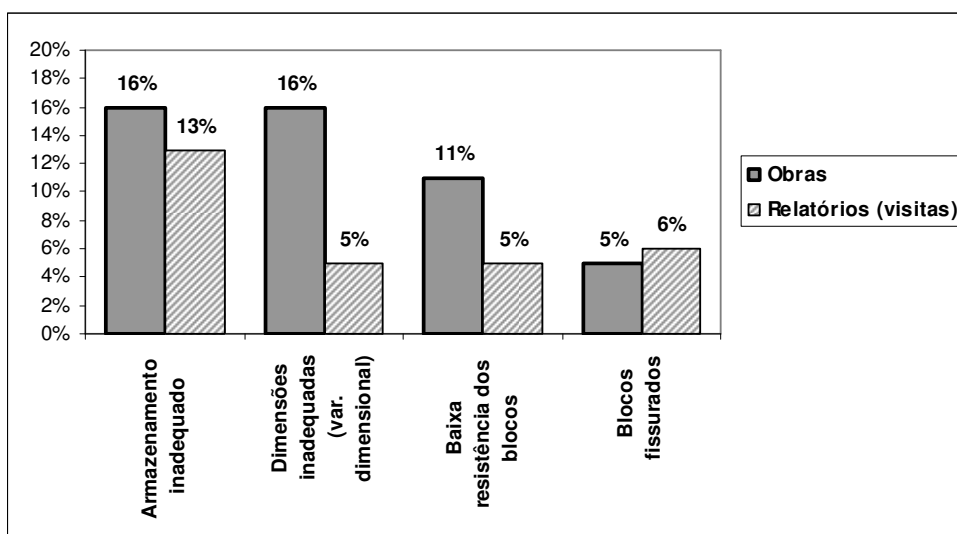


Figura 32: falhas nos blocos estruturais

Foram observadas falhas no armazenamento dos blocos em 16% das obras e identificadas em 13% dos relatórios de monitoramento das mesmas, incluindo problemas tais como: blocos armazenados sobre o solo, blocos não cobertos expostos às intempéries. A aderência da argamassa aos blocos é prejudicada caso os blocos sejam depositados sobre o solo e posteriormente utilizados, conforme ilustrado na figura 33.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 33: blocos armazenados sobre o solo

Também em 16% dos empreendimentos em execução foram verificadas falhas nos blocos relacionadas às suas dimensões e descrita em 5% dos relatórios, evidenciando um problema de baixa frequência, mas preocupante. Houve relato de situações em que as diferenças dimensionais de bloco para bloco chegavam a 5 mm excedendo as tolerâncias normativas de 3 mm. Ainda com relação às dimensões, houve casos em que o fabricante fornecia blocos para obras atendendo sempre as dimensões mínimas recomendadas pela norma o que acarretava em um aumento das espessuras das juntas de argamassa. Estes problemas além de diminuir a resistência das paredes devido ao aumento da espessura das juntas, acarretam também em um aumento no consumo de argamassa. Em 11% das obras foram identificados problemas de utilização de blocos estruturais de baixa resistência na execução das paredes estruturais e foram verificadas em 5% dos relatórios das visitas feitas. Neste caso, apesar da especificação correta nos projetos, houve falhas na especificação na hora da compra. Ensaaios laboratoriais realizados posteriormente indicaram esta falha, o que evidencia a falta de controle de recebimento de materiais por parte das empresas. Em um dos casos estes blocos foram utilizados nos primeiros pavimentos de um empreendimento de cinco andares. Por recomendação do projetista estrutural foi feito então um reforço estrutural nos dois primeiros pavimentos utilizando perfis metálicos na tentativa de aumentar a capacidade suporte da parede de alvenaria às tensões de compressão, conforme a figura 34.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 34: reforço de paredes com perfis metálicos

Ainda com relação às falhas nos blocos, em 5% dos empreendimentos e 6% dos relatórios foi verificado recebimento em obra de blocos de concreto com fissuras. A aplicação destas unidades compromete a qualidade das paredes, favorecendo a ocorrência manifestação de fissuras isoladas. Num dos empreendimentos do programa IP, nos quais se utilizaram blocos de concreto, foi observada a aplicação de blocos não devidamente curados na execução das paredes. A norma NBR 8798 (ABNT, 1985) recomenda a utilização de blocos de concreto com idades superiores a 21 dias. Devido ao não atendimento a esta recomendação foi constatada fissuras do tipo escalonado devido ao efeito de retração desses blocos, conforme mostra a figura 35.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 35: fissuras nas juntas de argamassa devidas à retração por secagem de blocos

5.2.2 Argamassa de assentamento

A bibliografia recomenda diversos cuidados com a argamassa de assentamento (vide item 3.1.2), incluindo as condições de resistência à compressão, trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade, que devem ser tomados para garantir desempenho adequado da mesma. A figura 36 aponta os modos de falhas relacionadas à argamassa, verificadas durante a execução dos 19 empreendimentos e dos 64 relatórios analisados.

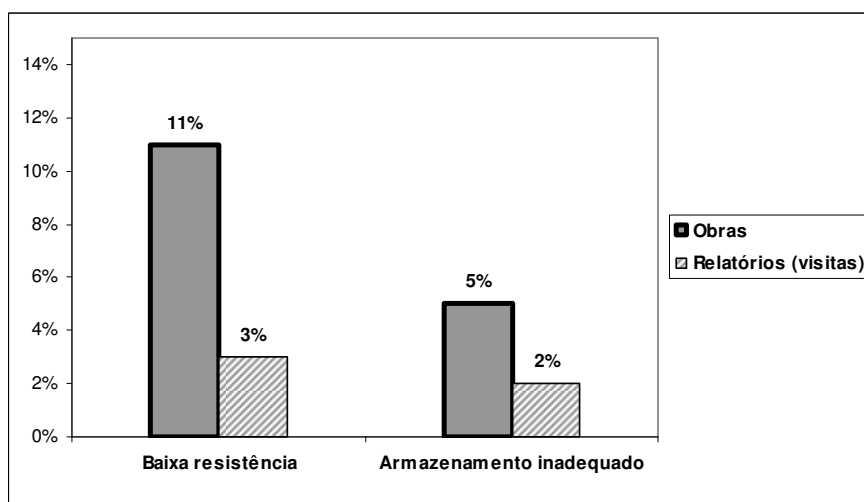


Figura 36: falhas na argamassa de assentamento

Em 11% dos empreendimentos foram observadas falhas relacionadas à baixa resistência da argamassa de assentamento, tendo em conta as especificações de projeto. Esta falha foi identificada em 3% dos relatórios de monitoramento das obras, indicando a baixa frequência de ocorrência da mesma. Essa baixa frequência pode ser explicada pela maior utilização de argamassa industrializada (PRUDÊNCIO, 2003). A utilização de argamassa de baixa resistência cria a possibilidade do aparecimento fissuras nas paredes acompanhando as juntas de assentamento, além de fissuras na vertical na parede (THOMAZ, 1990; DUARTE, 1998). Também ocorreram falhas no armazenamento da argamassa, em 5% das obras e identificada em 2% das visitas, por utilização de equipamentos permeáveis como caixas de madeira. Estas caixas permitem a perda de água necessária à hidratação do cimento diminuindo assim a qualidade da mesma, em termos de resistência e trabalhabilidade. Além destas falhas, foram relatados casos em que a argamassa pronta ficava exposta ao tempo por mais de duas horas sendo posteriormente utilizada para o assentamento dos blocos estruturais.

5.2.3 Pontos de graute

O grauteamento tem a função de envolver a armadura e permitir que a mesma trabalhe conjuntamente com a alvenaria, evitar a corrosão da armadura e aumentar a resistência à compressão localizada da parede (SABBATINI, 2003). A figura 37 a seguir, indica a ocorrência das falhas referentes ao grauteamento identificadas nos empreendimentos estudados.

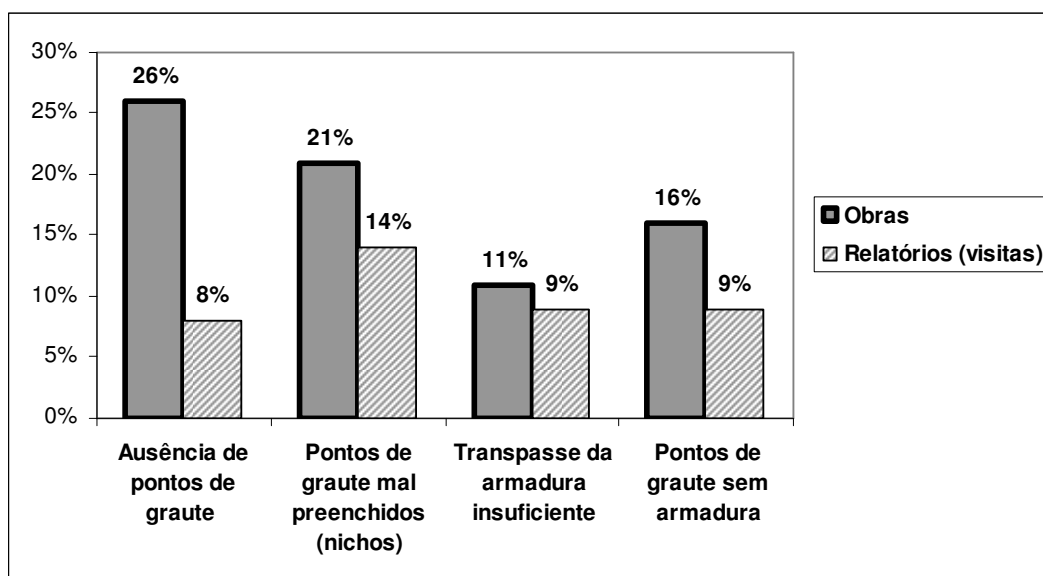


Figura 37: tipos de falhas nos pontos de graute

Em 26% dos empreendimentos monitorados foi observada a ausência de pontos de graute em relação ao especificado. Esta falha verificada em 8% dos relatórios das visitas em obras possibilita a manifestação de fissuras em pontos localizados das paredes dos últimos pavimentos, como nos cantos e nas proximidades das lajes. Pontos de graute mal preenchidos com presença de vazios foram notados em 21% dos empreendimentos monitorados e descritos em 14% dos relatórios de acompanhamento das obras. Esse tipo de falha é constatado

devido à falta de limpeza do excesso de argamassa seca no interior dos vazados dos blocos (vide item 3.1.3.3), deixadas durante o assentamento dos blocos, possibilitando a formação de “nichos” ou zonas ocas ao longo da parede grauteada, conforme ilustrados na figura 38.



Fonte: relatório do consultor A

- (a) ponto de graute sem preenchimento (b) local com falta de graute e armadura vertical (c) janela de inspeção de um ponto de graute sem preenchimento

Figura 38: problemas referentes a pontos de graute

Outro tipo de falha apontado nos relatórios foi pontos de graute sem a armadura necessária tendo em conta as especificações de projeto. Isto foi identificado em 16% das obras em execução e verificado em 9% dos relatórios de monitoramento da alvenaria estrutural por parte dos consultores. A armadura é um componente importante para combater eventuais tensões de tração e inibir a formação de fissuras nas paredes. Ainda referente à armadura dos pontos de graute, em 11% dos empreendimentos e em 9% das visitas foi notado que o comprometimento do transpasse vertical da mesma não era o suficiente ou não atendia as especificações, conforme as figuras 39(a) e 39 (b).



- (a) falta de armadura no interior do furo bloco

- (b) armadura vertical com pouco comprimento para o transpasse

Figura 39: problemas referentes à armadura

5.2.4 Paredes estruturais

Na coleta dos dados para a análise foi considerada a parede somente o conjunto composto pela união dos blocos com a argamassa de assentamento. Não foram consideradas as vergas, contravergas e cintas como partes integrantes da parede. Os modos ou tipos de falhas identificados estão apresentados na figura 40.

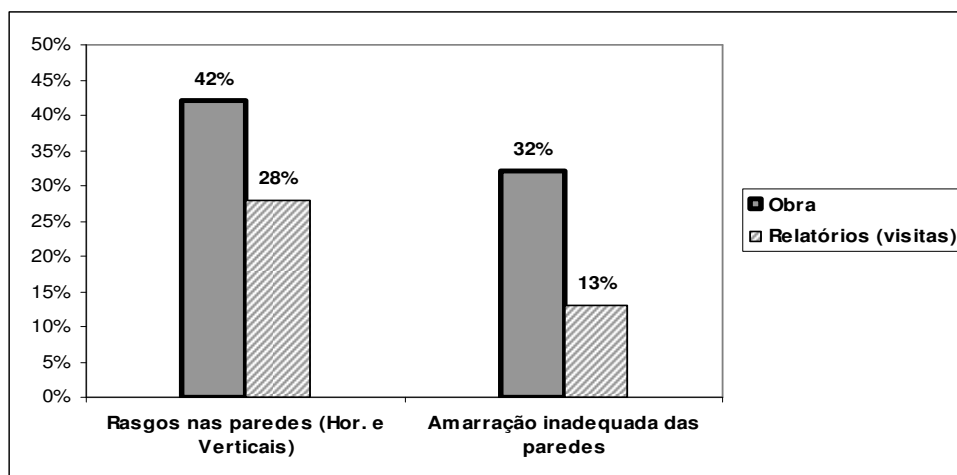


Figura 40: falhas nas paredes estruturais

Foi observado que, em 42% dos empreendimentos em execução e em 28% dos relatórios analisados, faziam-se rasgos nas paredes para a passagem de tubulações, conforme ilustrado na figura 41. Estes rasgos eram feitos tanto nas direções horizontais como na vertical, excedendo os valores recomendados para tais aberturas (vide figura 11, item 3.1.4.2). Essa quebra pode comprometer o desempenho da parede diminuindo a sua capacidade de suporte e ocasionar o aparecimento de fissuras isoladas nas paredes. A diminuição da capacidade de suporte se deve a diminuição da seção resistente da parede (ROMAN *et al.*, 1999).



Fonte: relatório do consultor A

Figura 41: rasgos nas paredes para a passagem de tubulações

A amarração inadequada das paredes foi outra falha citada nos relatórios, tendo sido observado em 32% dos empreendimentos em construção e relatado em 13% das visitas feitas nas obras pelos consultores. É

recomendada a amarração do tipo “castelinho” para garantir uma melhor interpenetração entre as paredes, evitando o aparecimento de fissuras nestes encontros das paredes. O encontro das paredes é ponto de concentração de tensões e de transferência de cargas de uma parede para outra (SABBATINI, 2003), podendo representar um ponto de fraqueza e de surgimento de fissuras, em caso de falhas. A figura 42 a seguir ilustra inadequações na amarração de paredes.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 42: amarração não recomendada para a alvenaria estrutural

5.2.5 Juntas de argamassa

A figura 43 apresenta a incidência de falhas relacionadas às juntas de argamassa, sendo identificados dois modos ou tipos de falhas: espessura variável da junta e a irregularidade no seu preenchimento. Ambos os tipos de falhas identificados podem comprometer a função da junta em garantir a monoliticidade do conjunto, a distribuição de esforços, a estanqueidade e a durabilidade da alvenaria (CAVALHEIRO, 2006).

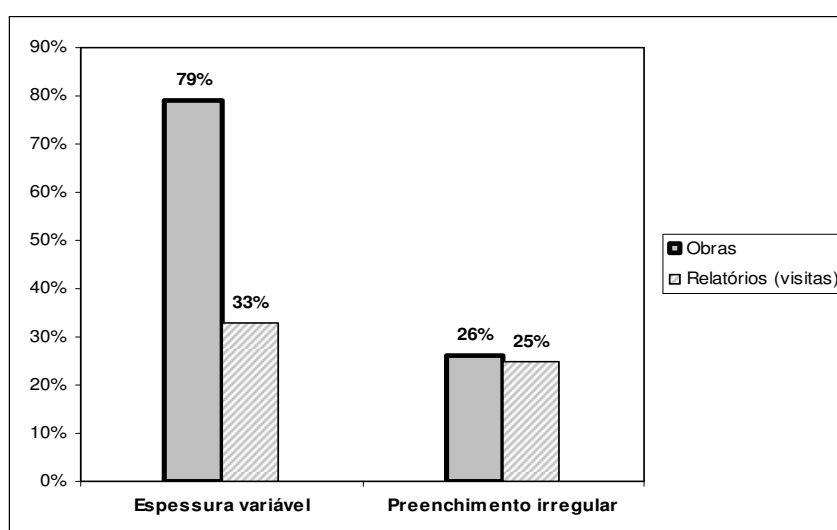


Figura 43: os modos de falhas nas juntas de argamassa

Dos empreendimentos investigados, em 79% deles foram observadas falhas nas juntas em relação à sua espessura, com predominância dessa falha na junta horizontal. Essa falha foi relatada em 33% das visitas feitas nestes empreendimentos. A NBR 8798 (ABNT, 1985) especifica que as juntas devem ter espessura de 10 mm com tolerância de 3 mm para mais ou para menos. Neste sentido, foram consideradas falhas quando as juntas não atendiam a esta especificação.

Os relatórios apontavam casos de juntas horizontais em que a espessura aproximava de 0 mm assim como também de 30 mm. De acordo com a literatura consultada (vide item 3.1.5) quando esses casos ocorrem na junta horizontal há um decréscimo da resistência à compressão da parede de alvenaria. Juntas horizontais com espessura variando entre 16 a 19 mm de espessura podem levar a uma queda de 30% na resistência a compressão das paredes. No caso da junta vertical, o aumento da espessura faz diminuir a resistência ao cisalhamento da parede. A figura 44 ilustra algumas falhas nas juntas.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 44: juntas de argamassa de espessura variável

A figura 45 ilustra a irregularidade no preenchimento das juntas, mostrando a presença de muitos vazios. Este problema foi detectado em 26% do total dos empreendimentos monitorados e foi descrito em 25% dos relatórios das visitas feitas nas obras. Essa falha pode resultar no aparecimento de fissuras nas paredes, entre as quais fissuras isoladas nas direções verticais e ou horizontais, devido ao aumento da espessura da argamassa nesses pontos. Quanto à capacidade portante, o mau preenchimento da junta horizontal pode representar uma diminuição de 30% na resistência à compressão da parede (ROMAN *et al.*, 1999). O não preenchimento de juntas verticais pode também representar uma perda de 40% de resistência ao cisalhamento (SINHA, 1994 apud MAMEDE, 2001). Esta redução da resistência ao cisalhamento possibilita o agravamento de problemas de fissuração na parede sob a laje de cobertura (BASSO *et al.*, 1997).



Fonte: relatório do consultor A

Figura 45: irregularidade no preenchimento vertical das juntas

Foram também constatadas falhas nas juntas devido a impactos. Esses impactos são provocados pela utilização de equipamentos inadequados (martelo+talhadeira) para fazer rasgos nas paredes, pelo impacto da montagem das lajes pré-fabricadas ou mesmo pela execução de formas para lajes moldadas no local. Nessas situações a união da argamassa com o bloco é prejudicada, levando ao aparecimento de fissuras (defeitos) nesta interface ou mesmo o desprendimento de blocos das paredes, conforme a figura 46.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 46: descolamento do bloco da argamassa causada pela montagem de formas

5.2.6 Junta horizontal de movimentação da laje (junta deslizante)

Os tipos de falhas observados nesta junta podem provocar o surgimento de várias formas de fissuração, entre as quais a fissura horizontal nas paredes próxima as lajes, inclinada próximo aos cantos das unidades, vertical com abertura maior próximo a laje, horizontal do tipo escamas ou fissura na interface entre a parede e a laje, devido a movimentações térmicas das lajes (vide item 3.3.3). A figura 47 aponta a incidência destes tipos de falhas.

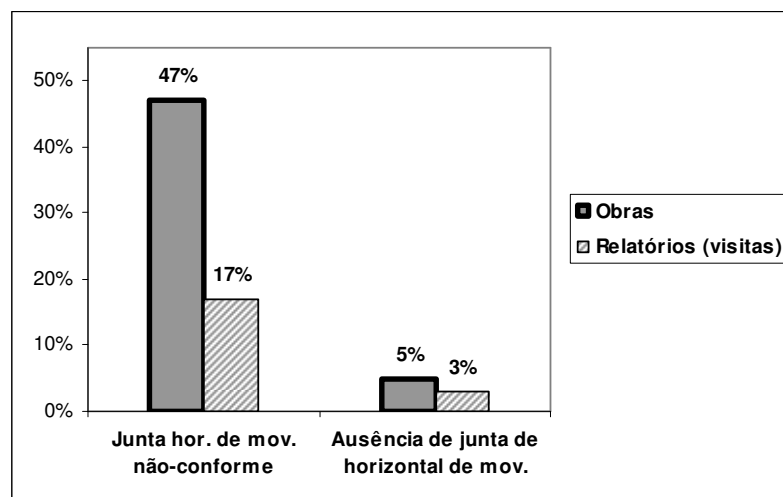


Figura 47: falhas na junta deslizante

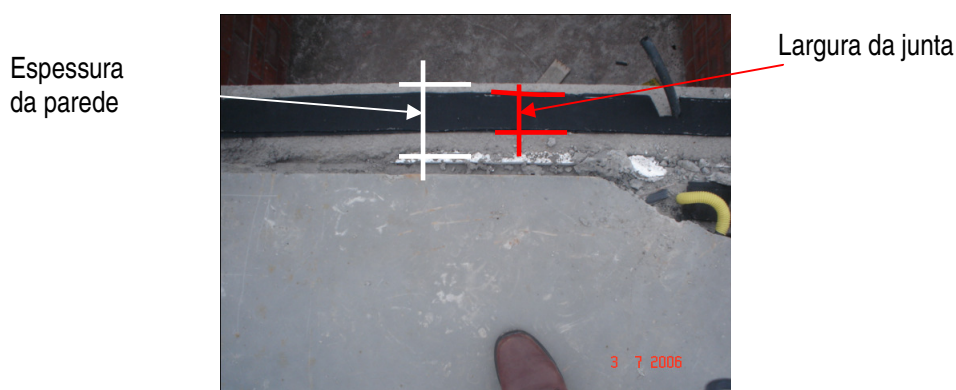
Em 47% dos empreendimentos monitorados os relatórios apontavam alguma falha em relação à execução desta junta, sendo que a mesma foi identificada em 17% dos relatórios. Dentre os modos de falhas, foi apontada a utilização de isopor ou de isopor envolto de lonas de plásticos como material para formar a junta. O isopor, por ser um material deformável e degradável, não é apropriado para desempenhar essa função, uma vez que pode se deteriorar com as movimentações dos elementos, sobretudo das lajes. A figura 48 ilustra essa inadequação.



Fonte: relatório do consultor B

Figura 48: isopor colocado entre a laje e a alvenaria com a função de junta deslizante

Mesmo utilizando o material adequado, como a manta asfáltica, foi também identificada outra não-conformidade na execução da junta. Em algumas situações, a largura da junta era bem menor do que a espessura da parede, conforme a figura 49 a seguir, o que permite uma vinculação direta da laje com a parede evitando a livre movimentação da laje, gerando esforços de tração nas paredes e favorecendo o aparecimento de fissuras.



Fonte: relatório do consultor B

Figura 49: manta para a junta de largura inferior à espessura da parede

Foram constatadas ausências de junta de movimentação em dois dos empreendimentos (5%) em construção e relatados em 3% das visitas, evidenciando uma falha pouco frequente. Nestes casos as lajes eram apoiadas diretamente sobre as cintas de amarração. Esse tipo solução em geral resulta em várias formas de fissuração das paredes, nos últimos pavimentos, onde as movimentações das lajes são mais intensas devido às variações de temperatura (DUARTE, 1999).

5.2.7 Junta de dilatação

Este tipo de junta é importante e ajuda na prevenção do aparecimento de fissuras devido às movimentações a que as estruturas estão sujeitas (vide item 3.1.7). A figura 50 a seguir indica a incidência de falhas detectadas nos 19 empreendimentos.

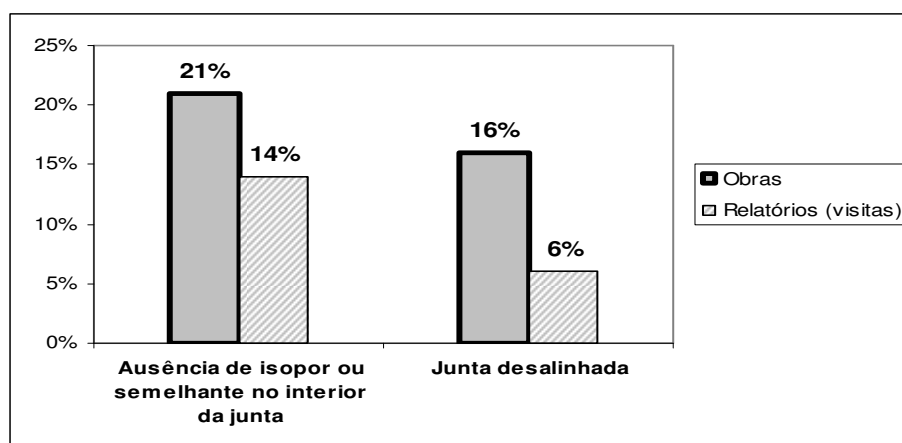


Figura 50: falhas na junta de dilatação

A execução da junta de dilatação sem isopor ou outro elemento semelhante no seu interior foi identificada em 21% dos empreendimentos estudados. A falha foi constada em 14% dos relatórios das visitas de monitoramento. Essa falha favorece a queda de argamassa para o seu interior, durante o assentamento dos blocos estruturais, estabelecendo um vínculo entre as partes, o que compromete a finalidade da junta. Este vínculo pode criar

esforços de tração nas paredes podendo provocar fissuras nas mesmas. A figura 51 ilustra essa falha. No caso de juntas desalinhadas, que foi observado em 11% dos empreendimentos e em 6% dos relatórios, foi verificada que nem sempre as juntas nas paredes eram alinhadas com as das estruturas de concreto de fundação. Além disso, foram constatadas juntas desalinhadas ao longo das próprias paredes de alvenaria, conforme a figura (51b). A variação da espessura da junta possibilita o aparecimento de fissuras no revestimento nas paredes externas, nas proximidades das juntas.



Fonte: relatório do consultor A

(a) junta de dilatação sem isopor no interior (b) junta de dilatação com variação na espessura e sem isopor

Figura 51: problemas referentes a junta de dilatação

5.2.8 Verga e contraverga

No caso das vergas e contravergas (de portas e janelas) foram identificados cinco modos de falha durante a fase de acompanhamento das obras, conforme indica a figura 52.

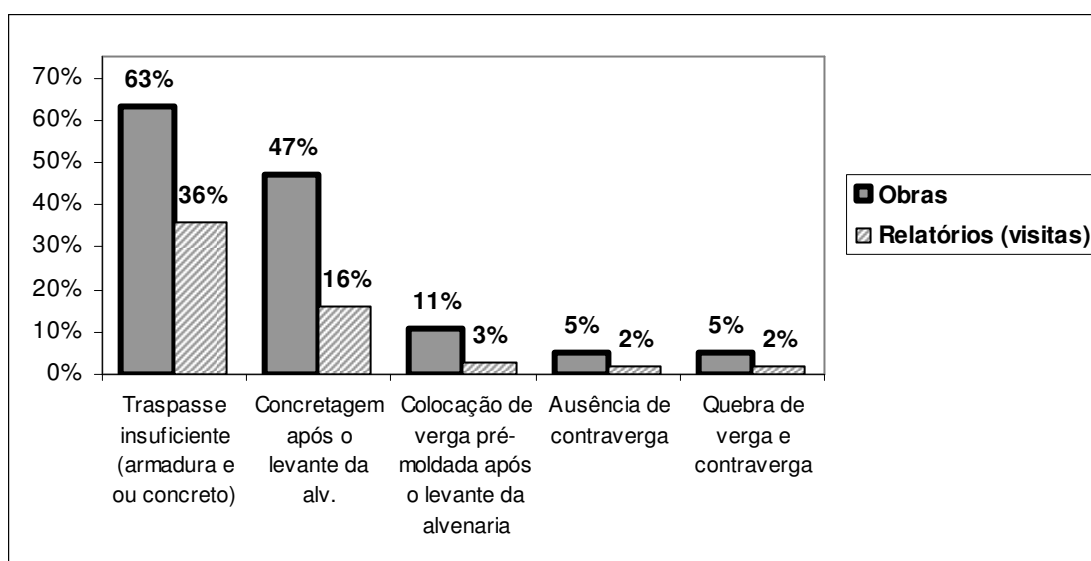


Figura 52: falhas nas vergas e contravergas

A principal falha observada foi o transpasse insuficiente para o interior das paredes, sendo este constatado em 63% dos empreendimentos e verificado em 36% dos relatórios de monitoramento das obras. Foi verificado que o transpasse era insuficiente, não atendendo as recomendações técnicas (vide item 3.1.8), devido a falhas na concretagem das mesmas ou por o comprimento da armadura ser de tamanho inferior ao comprimento das vergas e contravergas ou por falha na concepção do projeto.

As figuras 53(a) e 53(b), a seguir, ilustram falhas no transpasse numa verga e numa contraverga, que resultaram na perda das funções de transmitir ou distribuir os esforços de carregamento às paredes adjacentes, possibilitando o aparecimento de fissuras inclinadas partindo dos cantos das aberturas das portas ou janelas (THOMAZ, 1990).



Fonte: relatório do consultor A

(a) contraverga

(b) verga

Figura 53: transpasse insuficiente para dentro das paredes

Foi constatado que, em 47% dos empreendimentos, a concretagem das contravergas era muitas vezes feita após a elevação da alvenaria, conforme evidenciado na figura 54, sendo relatado em 16% das visitas. Esta falha pode fazer com que o transpasse para o interior da parede no ato de concretagem seja insuficiente, a armadura da mesma seja colocada em tamanho inferior e que a qualidade da concretagem das canaletas seja influenciada pelos restos de materiais como a argamassa de assentamento dos blocos caídos no seu interior. Esses modos de falhas levam à perda da função requerida desses elementos, favorecendo o aparecimento de fissuras nas paredes.



Fonte: relatório do consultor B

Figura 54: contraverga não concretada e com restos de argamassa no seu interior

Nos casos de empreendimentos nos quais foram utilizadas vergas e contravergas pré-moldadas foi constatada também a colocação destas após a elevação da alvenaria. Esse tipo de falha ocorreu em 11% dos empreendimentos monitorados e verificado em 3% dos relatórios, sendo que a mesma pode levar à ocorrência de fissuras devido a falhas na distribuição de tensões concentradas os cantos inferiores das janelas (SABBATINI, 2003). Foram também observadas outras falhas, mas de menor ocorrência, como a ausência de contraverga em janela de cozinha de um dos empreendimentos e a quebra de vergas e contravergas para a passagem de tubulações, conforme a figura 55. Esse último modo de falha é motivado pela falta de esperas embutidas nas vergas e contravergas para a passagem dos eletrodutos ou por incompatibilidade entre os projetos.



Fonte: relatório do consultor C

Figura 55: quebra de contraverga para a passagem de tubulações elétricas

Foi também verificada a utilização de vergas e contravergas pré-moldadas com fissuras comprometendo a sua função requerida na estrutura. As figuras 56 (a) e 56 (b), a seguir, evidenciam esse defeito.



Fonte: relatório do consultor A

(a) contraverga pré-moldada fissurada

(b) verga pré-moldada fissurada

Figura 56: problemas de fissuração de vergas e contravergas

5.2.9 Cinta de amarração

As cintas têm a finalidade de transmitir as cargas verticais das lajes às paredes estruturais como também a função de amarração das paredes (vide item 3.1.9). Foram identificados quatro tipos de falhas neste elemento, conforme indica a figura 57. Estas podem comprometer a função na cinta, favorecendo a manifestação de fissuras nas paredes da alvenaria estrutural.

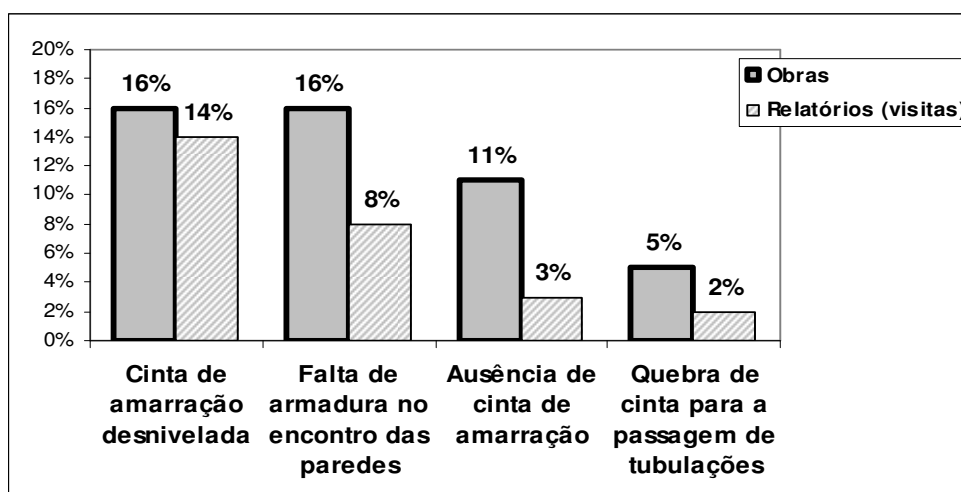


Figura 57: tipos de falhas na cinta de amarração

Em 16% dos empreendimentos em construção e em 14% dos relatórios de monitoramento foram observadas falhas nas cintas quanto à espessura da camada de argamassa de nivelamento. A cinta com espessura maior do

que o aceitável favorece o aparecimento de fissuras por conta de uma maior deformação da argamassa de nivelamento, induzindo a tensões de tração no topo dos blocos (PENTEADO, 2003). Nos empreendimentos em que essa falha foi constatada, foram apontadas como causas, problemas no nivelamento das vigas de fundações, desnivelamento das lajes do contrapiso e a não correção do nível no ato de assentamento da primeira fiada. A figura 58, a seguir, ilustra essa falha, resultando em uma camada de nivelamento muito espessa de argamassa sobre a cinta.



Fonte: relatório do consultor A

Figura 58: espessura excessiva da camada de nivelamento da estrutura

A falta de armadura no encontro das paredes ou armadura da cinta sem transpasse nos cantos foi observada em 16% dos empreendimentos e descrita em 8% dos relatórios das visitas feitas nas obras, o que possibilita o aparecimento de fissuras em vários pontos nas paredes, motivado pela perda da função de amarração das paredes. A ausência de cinta de amarração foi outra falha constatada em 11% dos empreendimentos e observada em 3% dos relatórios, o que demonstra a baixa ocorrência da mesma. Conforme identificada nos relatórios, a ausência de cinta era referente aos primeiros pavimentos, sendo que se utilizava cinta somente sobre as paredes do último pavimento. Nos outros pavimentos, as lajes eram apoiadas diretamente sobre uma camada de argamassa nivelada sobre os blocos da última fiada, o que é um procedimento não recomendável (DUARTE, 1999). Outra falha, identificada em 5% dos empreendimentos e 2% dos relatórios, foi a quebra de cinta de respaldo para a passagem de tubulações para instalações hidrossanitárias. Neste caso, além da quebra da cinta favorecer o surgimento de fissuras, não é recomendável a passagem de tubos de instalações sanitárias pelas paredes, mas sim através de *shafts* (vide item 3.1.4.2).

5.2.10 Quadro geral da frequência das falhas

A tabela 1, a seguir, ilustra a frequência de ocorrência das falhas identificadas nas 19 obras (empreendimentos), pelos 64 relatórios das visitas feitas nestas obras e pelo tipo de bloco utilizado na execução dos mesmos.

Tabela 1: tabela de frequência de ocorrência de falhas

COMPONENTE / ELEMENTO	TIPO DE FALHA	% OBRAS	% VISITAS (RELATÓRIOS)	TIPO DE BLOCO POR OBRAS (%)	
				CONCRETO	CERÂMICO
Junta de argamassa	Espessura variável	79%	33%	26%	53%
	Preenchimento irregular	26%	25%	5%	21%
Verga e contraverga	Transpasse insuficiente (armadura e ou concreto)	63%	36%	26%	37%
	Concretagem após o levante da alvenaria	47%	16%	5%	42%
	Colocação de verga pré-moldada após o levante da alvenaria	11%	3%		11%
	Ausência de contraverga	5%	3%	5%	
	Quebra de verga e contraverga	5%	3%	5%	
Junta deslizante	Junta deslizante não-conforme	47%	17%	21%	26%
	Ausência de junta de horizontal de movimentação	11%	3%		5%
Cinta de amarração	Cinta de amarração desnivelada	16%	14%		16%
	Falta de armadura no encontro das paredes	16%	8%	11%	5%
	Ausência de cinta de amarração	11%	3%		11%
	Quebra de cinta para a passagem de tubulações	5%	2%		5%

Tabela 1: tabela de frequência de ocorrência de falhas (continuação)

COMPONENTE / ELEMENTO	TIPO DE FALHA	% OBRAS	% VISITAS (RELATÓRIOS)	TIPO DE BLOCO POR OBRAS (%)	
				CONCRETO	CERÂMICO
Pontos de graute	Ausência de pontos de graute	26%	8%	16%	10%
	Pontos de graute mal preenchidos (nichos)	21%	14%	5%	16%
	Transpasse insuficiente da armadura	11%	9%		11%
	Pontos de graute sem armadura	16%	9%		16%
Paredes estruturais	Rasgos nas paredes (Horizontais e Verticais)	42%	28%	21%	21%
	Amarração inadequada das paredes	32%	13%	21%	11%
Blocos estruturais	Armazenamento inadequado	16%	13%	5%	11%
	Dimensões inadequadas (variação dimensional)	16%	5%	5%	11%
	Baixa resistência dos blocos	11%	5%	5%	5%
	Blocos fissurados	5%	6%	5%	
Argamassa de assentamento	Baixa resistência	11%	3%	5%	5%
	Armazenamento inadequado	5%	2%	5%	
Junta de dilatação	Ausência de isopor ou semelhante no interior da junta	21%	14%		21%
	Junta desalinhada	16%	6%		16%

A partir da tabela 1 observa-se que a falha de maior ocorrência por empreendimentos foi a espessura variável da junta de argamassa com 79% dos casos, enquanto que o transpasse insuficiente de verga e contraverga para o interior teve maior ocorrência pelo o número de relatórios, com 47% dos casos. A ausência de verga e quebra de cinta para a passagem de tubulações foram as falhas de menor ocorrência, quer por empreendimentos (5%), quer por relatórios (2%). Falhas nas juntas de argamassa foram mais frequentes, enquanto que as não-conformidades nos blocos e na argamassa de assentamento tiveram menores ocorrências. A frequência de falhas nos empreendimentos executados com blocos cerâmicos foram maiores do que as executadas em blocos de concreto. Este fato pode ser explicado pelo o número de empreendimentos executados com blocos cerâmicos (14) e com blocos de concreto (5). Entretanto observa-se que as mesmas falhas podem se ocorrer em ambos.

A tabela 2, a seguir, apresenta os resultados de ocorrência de falhas por empresas construtoras (EC). A partir do quadro constata-se que o modo de falha, junta de argamassa de espessura variável, ocorria em quase todas as empresas construtoras com a exceção da empresa EC7. Esta falha teve maior ocorrência nas empresas EC1, EC2 e EC4. O problema do transpasse insuficiente da verga e contraverga para o interior só não foi identificado na empresa EC8, sendo que teve maior número de ocorrência nas empresas EC2 e EC4. As falhas como a ausência de verga e quebra de verga e contraverga para a passagem de tubulações e quebra de cinta de amarração só ocorreram na empresa EC4.

Tabela 2: frequência de ocorrência de falhas por empresa construtora (E¹¹ e V¹²)

FALHAS	EC1		EC2		EC3		EC4		EC5		EC6		6C7		EC8	
	% E	% V	% E	% V	% E	% V	% E	% V	% E	% V	% E	% V	% E	% V	% E	% V
Junta de argamassa																
Espessura variável	16%	8%	16%	8%	5%	2%	21%	6%	5%	5%	5%	3%			11%	2%
Preenchimento irregular	5%	6%	5%	6%			5%	6%	5%	5%					5%	2%
Verga e contraverga																
Transpasse insuficiente (armadura e ou concreto)	11%	3%	11%	9%	5%	2%	21%	9%	5%	5%	5%	5%	5%	3%		
Concretagem após o levante da alv.	11%	3%	11%	6%			5%	2%	5%	2%					16%	5%
Colocação de verga pré-moldada após o levante da alvenaria	11%	3%														
Ausência de contraverga							5%	2%								
Quebra de verga e contraverga							5%	2%								
Junta deslizante																
Junta hor. de mov. não-conforme	16%	5%					16%	5%			5%	6%	5%	2%	5%	
Ausência de junta de horizontal de mov.													5%	3%		
Cinta de amarração																
Cinta de amarração desnivelada	5%	11%	11%	3%												
Falta de armadura no encontro das paredes			5%	3%			11%	5%								
Ausência de cinta de amarração	11%	3%														
Quebra de cinta para a passagem de tubulações							5%	2%								
Pontos de graute																
Ausência de pontos de graute	11%	5%					16%	5%								
Pontos de graute mal preenchidos (nichos)			5%	6%			5%	2%	5%	5%					5%	2%
Transpasse da armadura insuficiente	5%	8%							5%	2%						
Pontos de graute sem armadura	11%	3%	5%	6%												
Paredes estruturais																
Rasgos nas paredes para a passagem de tubulações	5%	6%	5%	6%			21%	11%	5%	3%			5%	2%		
Amarração inadequada das paredes			5%	5%			16%	5%	5%	2%	5%	2%				
Blocos estruturais																
Armazenamento inadequado			5%	2%			5%	2%							5%	9%
Dimensões inadequadas (var. dimensional)			11%	3%			5%	2%								
Baixa resistência dos blocos							5%	2%	5%	5%						
Blocos fissurados											5%	6%				
Argamassa de assentamento																
Baixa resistência							5%	2%	5%	2%						
Armazenamento inadequado							5%	2%								
Junta de dilatação																
Ausência de isopor ou semelhante no interior da junta			11%	9%											11%	5%
Junta desalinhada			11%	5%											5%	2%

¹¹ Empreendimentos¹² Visitas

5.3 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE PROPOSTO

Partindo dos resultados obtidos da aplicação do diagrama de Pareto e das falhas observadas durante a execução dos empreendimentos dos programas PAR e IP, foi aplicado um método de análise das relações de causa e efeito proposto. Com a aplicação das ferramentas que compõem o método, buscou-se fazer um desdobramento das causas da manifestação de fissuras nas paredes dos empreendimentos. Esse desdobramento permitiu representar o conjunto de categorias de causas possíveis para a ocorrência de fissuras. Primeiramente é apresentado o resultado da aplicação do diagrama de causa e efeito, seguido dos diagramas de relações e de afinidade e, por fim, o FMEA e o diagrama de Pareto para priorizar causas, tendo em conta aos índices de riscos obtidos. Ao final são propostas ações de melhoria e algumas recomendações.

5.3.1 Diagrama de causa e efeito

A figura 59, a seguir, ilustra o resultado da aplicação do diagrama de causa e efeito, na qual são explicitadas as causas possíveis da fissuração das paredes de alvenaria estrutural.

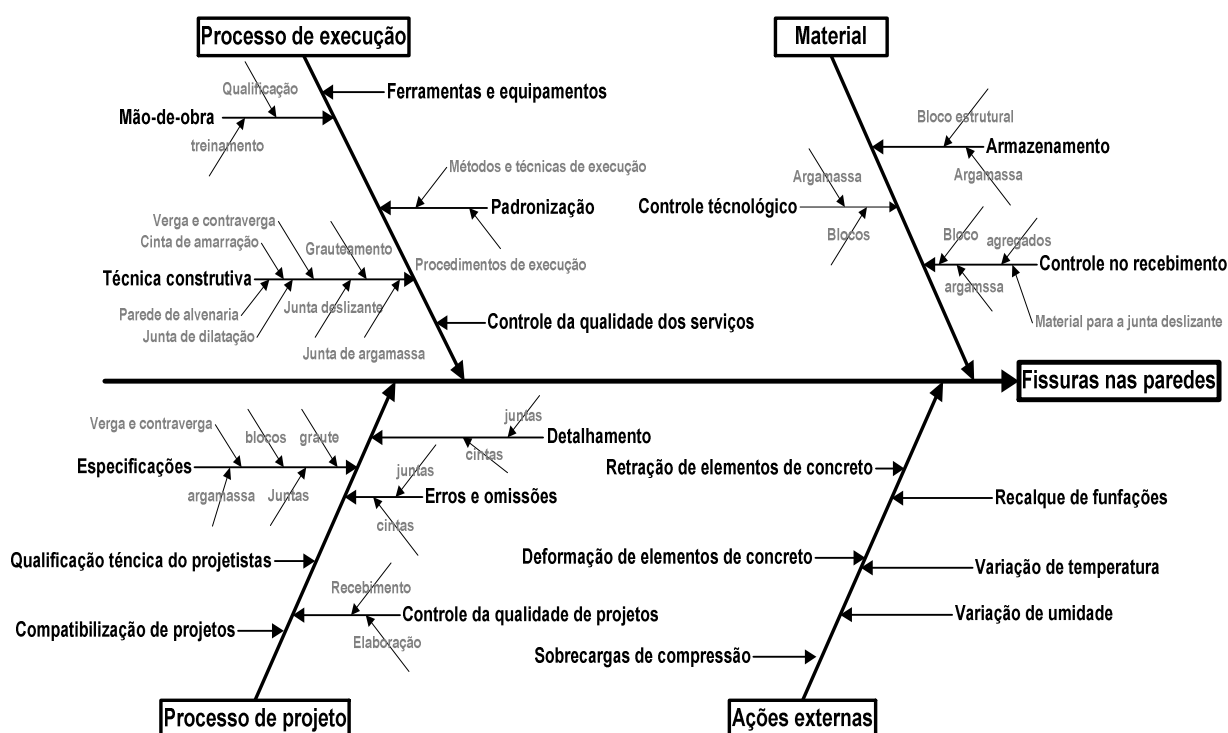


Figura 59: diagrama de causa e efeito

A partir da definição e aplicação do diagrama foi possível fazer um desdobramento de todas as causas de fissuração nas paredes dos empreendimentos. Cada uma das causas primárias do efeito fissura foi desdobrada em causas secundárias, que, por sua vez, se desdobraram em causas terciárias. Foram quatro as possíveis

causas primárias identificadas para a fissuração das paredes de alvenaria: falhas nos materiais utilizados no processo construtivo, falhas durante a execução dos serviços, falhas no processo de projeto e as ações externas. Cabe salientar que a concepção de materiais na aplicação do diagrama tem um sentido amplo, englobando os mais variados materiais e componentes utilizados na alvenaria estrutural.

As **falhas nos materiais** utilizadas nas construções podem estar relacionadas à falta de controle de recebimento dos materiais na obra, falta de controle tecnológico dos materiais e falhas no armazenamento dos mesmos, que correspondem a categoria de causas secundárias da fissuração. Como causas terciárias possíveis foram identificadas as falhas nos blocos, argamassa e material para a junta deslizante, conforme evidenciados no item 5.2 anterior.

Em relação às **ações externas**, as fissuras podem estar relacionadas as condições atmosféricas, as condições do solo para suportar as estruturas dos edifícios e as ações dos elementos de concreto armado (lajes, vigas e pilares) devido a deformações e aos movimentos de retração e de expansão a que estão sujeitas. Relacionadas às condições atmosféricas, a variação de temperatura e de umidade são agentes importantes na geração de fissuras nas paredes de alvenaria, devido às tensões de tração que podem surgir pela variação de volume que provocam nos elementos que compõem a estrutura, como as lajes e as próprias paredes de alvenaria (vide itens 3.4.3 e 3.4.5). Caso essa variação de volume não seja prevista no projeto, o vínculo estabelecido entre os elementos de concreto e a alvenaria ou na própria alvenaria pode ocasionar fissuras nas paredes nas três direções e em vários pontos das paredes (DUARTE, 1998). Do ponto de vista das condições do solo, segundo a literatura consultada, o recalque de fundações pode provocar fissuras nas paredes em todas as três direções em estudo (horizontal, vertical, inclinada) (HOLANDA JUNIOR, 2002). Isto ocorre em caso de o projeto e ou a execução das fundações for inadequada. As deformações e os movimentos de retração e expansão dos elementos de concreto, como as lajes, blocos estruturais de concreto e as vigas de fundações são possíveis geradores de tensão de tração nas paredes, levando ao aparecimento de fissuras nas paredes em várias direções (vide item 3.4.4 e 3.4.6). A tensão é gerada por as paredes de alvenaria não acompanharem estas movimentações nas mesmas proporções (DUARTE, 1998).

Podem ser causas secundárias, ligadas ao **processo de execução** dos empreendimentos a técnica construtiva utilizada, a qualidade da mão-de-obra empregada, a qualidade e o tipo de ferramentas e equipamentos utilizados, o nível de controle da qualidade de cada serviço e grau de padronização dos procedimentos, técnicas e métodos de execução.

Muitas das falhas identificadas na pesquisa estão relacionadas ao emprego de técnicas construtivas inadequadas. Estas inadequações técnicas observadas fazem com que as várias partes constituintes da alvenaria estrutural percam as suas respectivas funções influenciando na formação de fissuras em vários pontos das paredes e nas três direções possíveis.

A qualidade da mão-de-obra é, segundo a literatura (DUARTE, 1999; HENDRY, 2001), um fator importante que muito influencia a qualidade final dos empreendimentos executados em alvenaria estrutural. Influencia fortemente a boa resistência à compressão da parede, tendo em vista fatores como o prumo, a verticalidade, a uniformidade de espessura de juntas e resistência de aderência (DUARTE, 1999). Para tanto, a baixa qualificação da mão-de-obra e a falta de treinamento podem contribuir para a ocorrência de falhas no processo construtivo, podendo resultar em fissuras nas paredes. Várias das falhas identificadas nos relatórios analisados, entre as quais variações na espessura das juntas de argamassa, rasgos excessivos nas paredes estruturais e falhas no grauteamento, podem ser motivadas pela mão-de-obra despreparada. Esse despreparo pode levar também à utilização de ferramentas e equipamentos de forma inadequada para executar determinadas tarefas, como, por exemplo, a utilização de equipamentos inadequados como o martelo e a talhadeira para fazer rasgos nas paredes.

A falta de controle da qualidade da execução pode também resultar no surgimento de falhas em cada um dos elementos e ou componentes da alvenaria estrutural, propiciando a perda das suas respectivas funções no sistema, favorecendo a manifestação de fissuras nas paredes dos empreendimentos. De acordo com Brandão (1992), o controle da qualidade consiste em técnicas operacionais e atividades visando garantir que o produto final atenda aos requisitos da qualidade e especificações previamente estabelecidas, prevenindo a ocorrência de falhas e defeitos (PALADINI, 2000). As falhas verificadas no decorrer das obras (vide item 5.2) podem estar fortemente ligadas a essa falta de controle.

A falta de padronização das técnicas e procedimentos de execução dos serviços constitui outra causa potencial para que ocorram falhas ao longo do processo construtivo. De acordo com Penteado (2003), a falta de padronização faz com que cada trabalhador execute determinado serviço conforme os conhecimentos próprios, gerando muita variabilidade ao longo da produção dos edifícios. Isso ficou evidente nos relatórios consultados durante a pesquisa. Em determinados empreendimentos, num mesmo pavimento, duas ou mais frentes de trabalho executavam as mesmas tarefas de forma diferente. No levantamento da alvenaria, enquanto alguns pedreiros executavam a amarração das paredes de forma correta, em forma de “castelinhos”, outros procediam de forma inadequada.

Quanto ao **processo de projetos**, destacam-se as seguintes causas secundárias possíveis: falhas nas especificações de projetos, de materiais, componentes e elementos que compõem a estrutura dos edifícios; pouca qualificação técnica ou a falta de conhecimento técnico por parte dos projetistas; erros e omissões nas especificações e detalhamentos; a falta de compatibilização entre os diversos projetos (arquitetônico, estrutural e de instalações elétricas e hidrossanitárias); e a falta de controle da qualidade de projetos durante a sua elaboração e no recebimento. Diversas falhas identificadas no estudo apontam possíveis causas terciárias de fissuração das paredes de alvenaria relacionadas a este processo: juntas deslizantes inadequadas; ausência de juntas; ausência de cintas; ausência de contraverga; transpasse insuficiente de vergas e contravergas para o interior das paredes; argamassa inadequada; blocos estruturais inadequados e ausência de pontos de graute.

Estas inadequações podem estar associadas a fatores relacionadas à etapa de concepção dos projetos, que envolve os conhecimentos técnicos das equipes de projeto, e a falta de integração das mesmas com vista a minimizar incompatibilidades, evitando assim improvisações durante a execução dos empreendimentos.

Da aplicação do diagrama foi possível observar que são várias as causas possíveis que podem contribuir para a geração de fissuras em paredes de alvenaria estrutural. Estas causas podem ser desdobradas em categorias, na qual se pode hierarquizá-los nos níveis primárias, secundárias ou terciárias. A partir da aplicação do diagrama de causas e efeito para cada uma das formas de fissura (vertical, horizontal e inclinada), constatou-se que as causas primárias e secundárias eram semelhantes, com algumas variações em relação às causas terciárias. Desta constatação optou-se em fazer um diagrama único e genérico que permitia verificar as mais variadas causas potenciais que podem levar às configurações de fissuras diagnosticadas.

O resultado da aplicação desta ferramenta mostra a relação de complexidade, comentada por Hendry e Khalaf (2001), que existe para diagnosticar as causas responsáveis para uma determinada forma de fissura. Constatou-se que as causas podem estar relacionadas aos materiais, à etapa de execução, à etapa de projetos, conjugadas do com as ações externas. Entretanto, apesar de o diagrama mostrar ser uma ferramenta importante na identificação destes conjuntos de causas, ele só permite fazer uma análise individual das mesmas, isto é, não demonstra como que essas causas podem se inter-relacionar para resultar no efeito fissura. Hendry e Khalaf (2001) observam que a fissuração nas paredes pode ser proveniente de uma combinação de causas relacionadas a diferentes etapas do empreendimento (por exemplo, execução, projetos e aquisição de materiais).

5.3.2 Mapa de relações de causa e efeito (diagramas de relações e afinidade)

Com vista a identificar e explicitar as inter-relações entre estas causas e seus respectivos efeitos, foi aplicado um mapa de relações de causa e efeito composto pelos diagramas de relações e de afinidade para cada uma das formas de manifestação de fissura nas paredes dos empreendimentos. Partindo das definições dos diagramas de relações e de afinidade, foi possível adaptá-los e formar um mapa de relações de causa e efeito e aplicá-lo em cada uma das formas de fissura em estudo. As figuras 60 a 62, a seguir, apresentam o resultado da aplicação desta ferramenta, a partir do diagrama de causa efeito previamente elaborado, nas falhas identificadas, na revisão de literatura e nas discussões com os especialistas. A partir destas fontes de evidências as causas foram agrupadas de acordo com as suas afinidades, tendo em conta as etapas de projeto, execução e de aquisição de materiais. Partindo deste agrupamento foi possível estabelecer a inter-relação entre as diversas causas identificadas. O mapa mostra também como foi feito o desdobramento das relações de causa e efeito em quatro níveis de análise (vide figura 21 do item 4.3.3).

O primeiro nível do mapa representa as principais formas de fissuração das paredes, diagnosticadas nos tipos de empreendimentos em estudo. O aparecimento das manifestações patológicas em edifícios de alvenaria estrutural está relacionado a falhas nos materiais, nos componentes e nos elementos que o compõe (THOMAZ,

1990). Partindo dessa abordagem, o segundo nível do mapa classifica os principais componentes e elementos que, ao perderem as suas respectivas funções devido a falhas, podem resultar nas formas de fissura do primeiro nível. As falhas encontradas foram agrupadas em: falhas nas juntas de argamassa, nas juntas deslizantes ou de movimentação horizontal das lajes, nas cintas de amarração, no grauteamento, nas paredes estruturais, nas vergas e contravergas, nos blocos estruturais e falhas na argamassa de assentamento. A partir do segundo nível, é indicado que a fissuração pode ser oriunda de falhas em cada uma desses componentes ou elementos, assim como a mesma pode se manifestar a partir de uma combinação destas falhas. Assim uma falha em um dos componentes ou elementos não necessariamente provoca fissuras, mas, se combinado com falha em outro elemento, as chances de ocorrer uma fissura aumentam. Conforme observado por Basso *et al.* (1997), falhas nas juntas de argamassa fazem com que diminua a resistência ao cisalhamento da parede sob a laje. Essa redução de resistência ao cisalhamento devido à falha na junta de argamassa, aliada a falhas na junta deslizante, podem influenciar no aparecimento de fissuras com índice de severidade mais alto do que as prováveis fissuras causadas por cada uma das falhas em separado.

As falhas nos componentes e elementos são efeitos de múltiplas causas potenciais referentes ao terceiro nível, que podem estar relacionadas, de acordo com as suas afinidades, à execução dos serviços, à concepção dos projetos e não-conformidades nos materiais e componentes. Nesse nível, constata-se que as várias possibilidades de combinações podem provocar um ou mais tipos de falhas no segundo nível.

As falhas de projeto, falhas de execução e de materiais identificadas podem ocorrer por várias causas gerenciais, desdobradas no quarto nível do mapa, que foi dividido em três categorias de causas tendo em conta as suas afinidades: controles gerenciais da produção, controle de projetos e controle de materiais.

Os problemas identificados como relacionados ao controle da produção foram: falta de treinamento da mão-de-obra; falta de padronização, procedimentos e técnicas de construção e falta de controle da qualidade na execução de cada serviço. A segunda categoria chamada de controle de projetos inclui: falhas no detalhamento de projeto; a baixa qualificação ou falta de conhecimento técnico dos projetistas; a não padronização de detalhes construtivos e a falta de controle de qualidade dos projetos. Na terceira categoria, de controle de materiais, as causas podem estar relacionadas a falhas no controle tecnológico dos materiais, no controle de recebimento dos materiais e no armazenamento e movimentação dos materiais.

Tendo em conta as funções dos principais componentes e elementos construtivos e as falhas identificadas, para cada forma de fissura foi elaborado um mapa de relação de causa e efeito. Os itens 5.3.2.1 a 5.3.2.3, a seguir, mostram os resultados da aplicação dos mapas.

5.3.2.1 Fissura na direção horizontal

A figura 60, a seguir, apresenta o mapa de relações de causas e o efeito fissura horizontal.

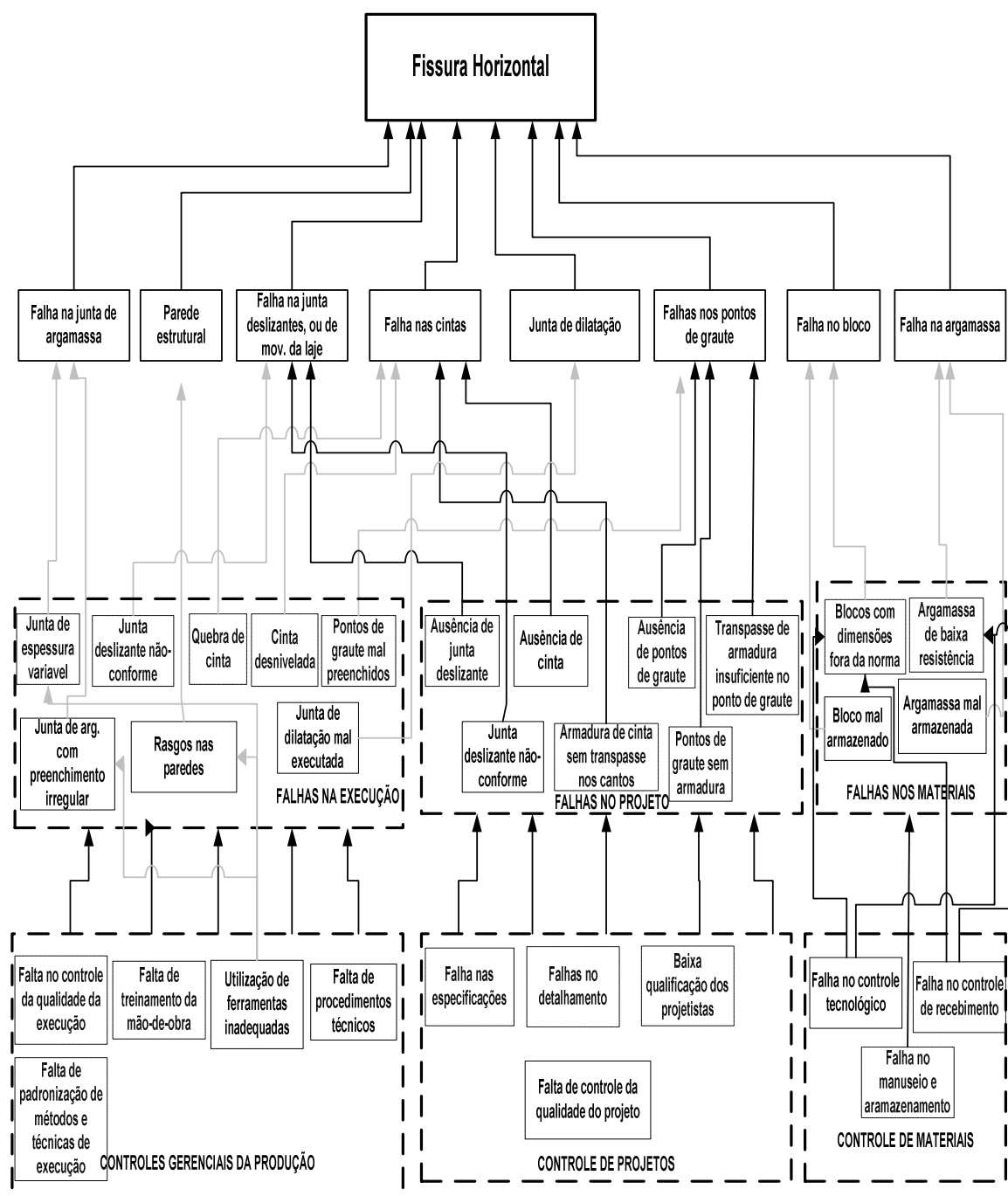


Figura 60: mapa de inter-relações de causas para a fissura horizontal

Nota-se que as principais falhas que podem gerar esse tipo de fissura são as falhas nas juntas de assentamento da argamassa, falhas nas juntas horizontais de movimentação das lajes, falhas nas cintas de amarração, falha

nos pontos de graute, falha no bloco e na argamassa de assentamento. Cada uma dessas falhas pode ser causadora da fissura na direção horizontal, assim como a combinação e ou a inter-relação entre elas.

Essas falhas por sua vez são oriundas de uma inter-relação um pouco mais complexa envolvendo as falhas durante a execução, falhas de projeto e não-conformidade dos materiais, identificadas nos relatórios analisados. O número de setas que saem do nível três para o segundo nível mostra essa relação de complexidade. Do mapa, observa-se que as causas da fissuração não são unicasais, ou seja, existe uma inter-relação de causas que podem ser observadas em várias das etapas da produção dos empreendimentos executados em alvenaria estrutural.

5.3.2.2 Fissura na direção vertical

A figura 61, a seguir, apresenta o mapa de relações de causas e o efeito fissura vertical nas paredes dos empreendimentos.

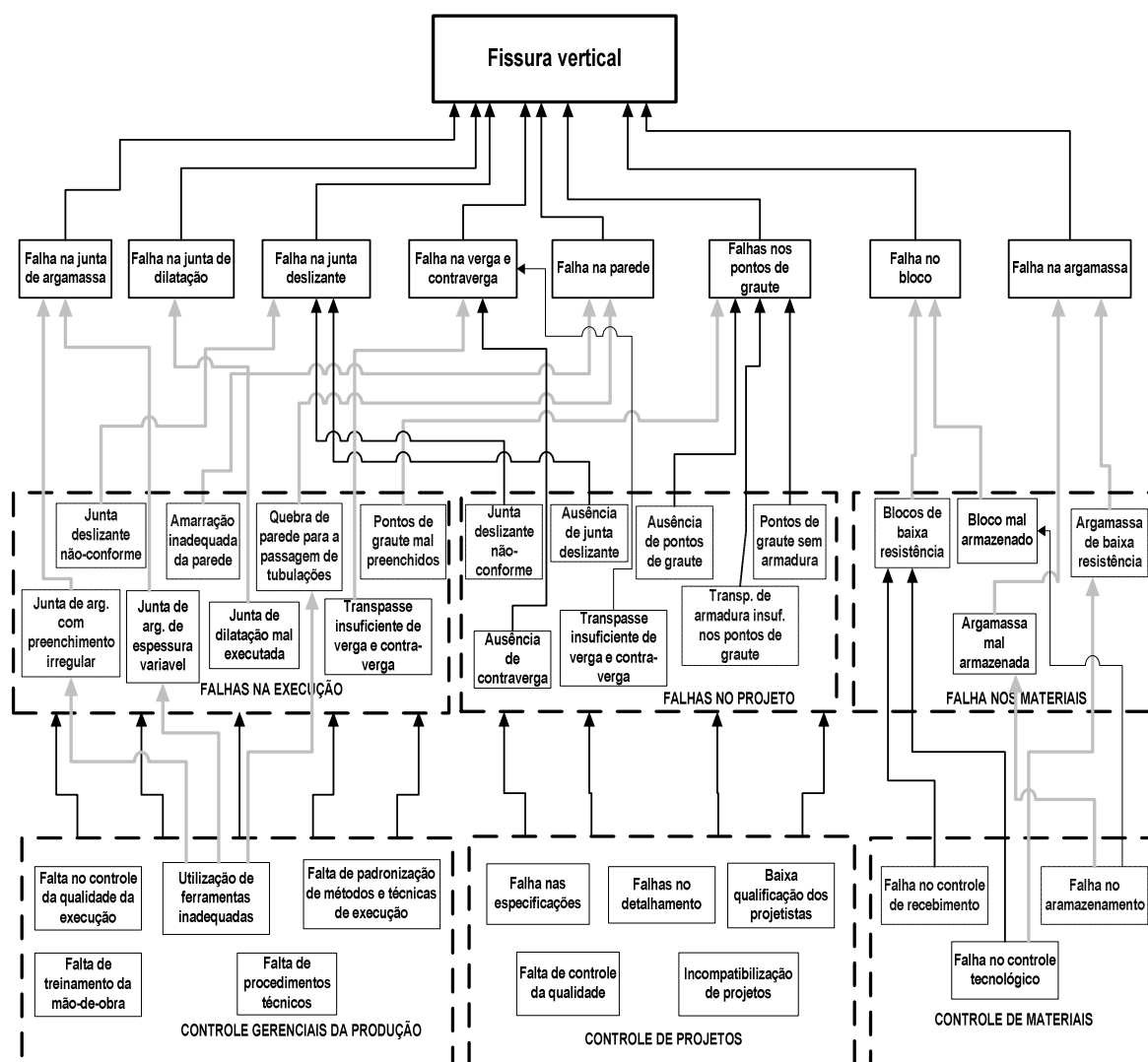


Figura 61: mapa de inter-relações de causas da fissura vertical

Neste mapa foram incluídas falhas na verga e contraverga e falhas na execução das paredes na geração da fissura vertical. As causas básicas ou gerenciais foram consideradas as mesmas em relação ao mapa de causas da fissura horizontal.

5.3.2.3 Fissura inclinada

A figura 62, a seguir, apresenta o mapa de relações de causas e o efeito fissura inclinada nas paredes dos empreendimentos.

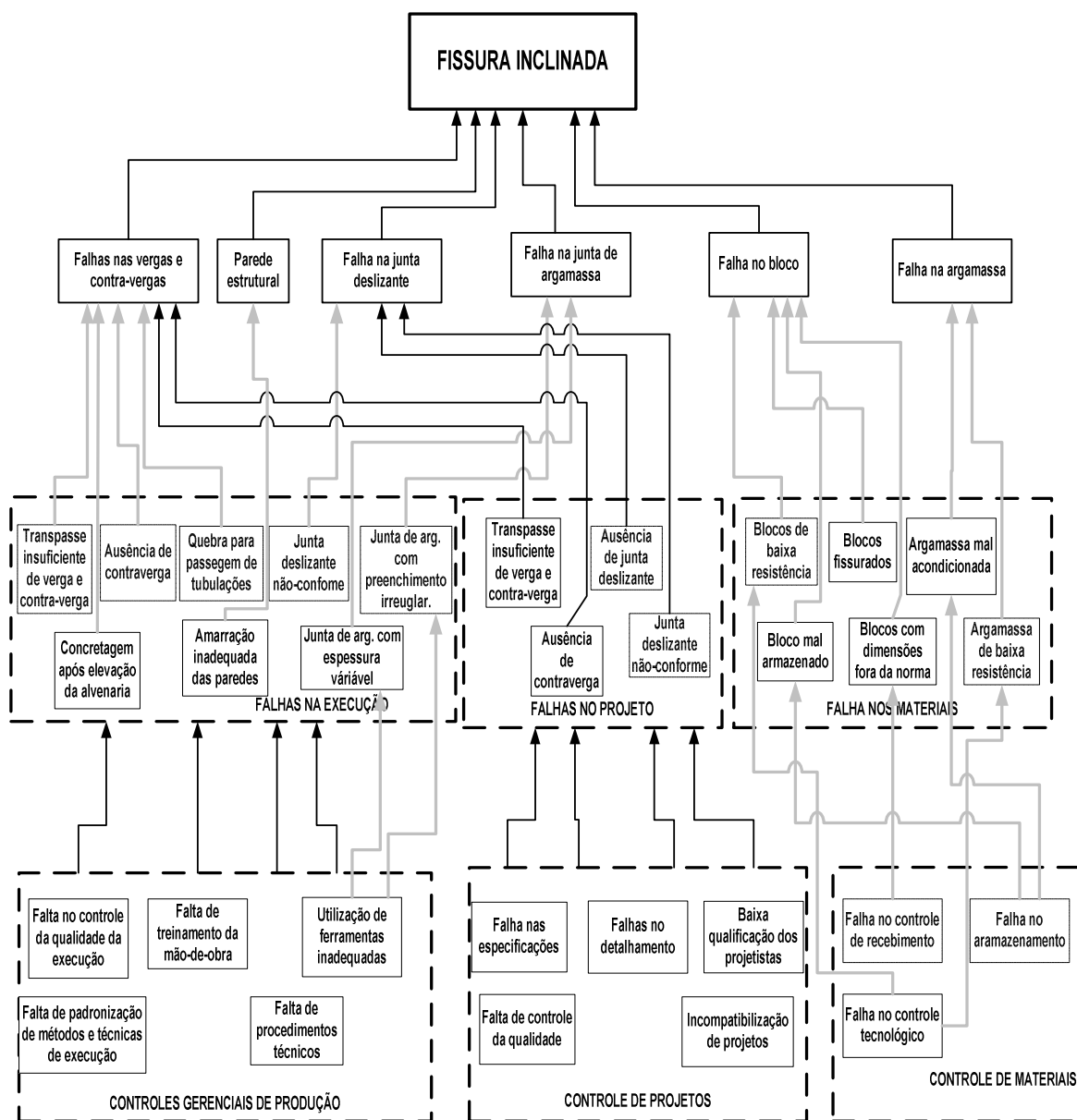


Figura 62: mapa de inter-relações de causas e o efeito fissura inclinada

No caso deste mapa, foram destacadas as falhas nas vergas e contravergas, falhas na junta horizontal de movimentação das lajes, falhas nas juntas de argamassa, falha nos blocos e na argamassa de assentamento. As causas básicas ou gerenciais foram consideradas as mesmas em relação aos mapas de causas da fissura horizontal e vertical.

5.3.2.4 Considerações da aplicação do mapa de relações de causas e efeito

A aplicação destas ferramentas permitiu explicitar as distintas relações de causas em forma de uma rede, complementando a aplicação do diagrama de causa e efeito. Permitiu ter uma visão do ponto de vista multicausal dos problemas relacionados ao processo construtivo, mediante a identificação das causas de falhas em cada um dos elementos e ou componentes da alvenaria estrutural. Com esta ferramenta foi possível compreender as relações de complexidade que podem existir para o surgimento de uma determinada forma de fissura. Além disso, fica evidente que cada uma das formas de fissura nas paredes pode não ser resultado de uma única causa, mas sim de um conjunto de causas inter-relacionadas e em diferentes níveis de gestão do processo construtivo.

Com base nas causas básicas identificadas, o diagrama indica aos intervenientes do processo construtivo as possíveis ações gerenciais que devem ser realizadas com vista a bloqueá-las, minimizando assim a ocorrência das falhas ao longo do processo construtivo em alvenaria estrutural, diminuindo a ocorrência de fissuras nas paredes de alvenaria estrutural.

Nesta ferramenta não foram incluídas as causas relacionadas às ações externas apresentadas no diagrama de causa e efeito. Parte-se do princípio de que as ações externas podem sempre ocorrer, mas são fenômenos que podem ser controlados com a adoção de medidas gerenciais nas fases de projetos, de execução e na aquisição de materiais, minimizando o seu impacto. Os controles gerenciais podem minimizar a ocorrência de falhas, evitando a geração de esforços não previstos pela atuação das ações externas.

5.3.3 Aplicação do FMEA

As figuras 63 a 71, a seguir mostram os resultados da aplicação do FMEA. Com base nos resultados obtidos da aplicação das ferramentas da qualidade e a partir das falhas identificadas nos relatórios, foi montado o FMEA para cada um dos elementos e componentes da alvenaria estrutural. As figuras mostram as possíveis causas das fissuras nas paredes, os seus efeitos e os respectivos riscos.

A partir das fontes de evidências e da literatura consultada (DUARTE, 1998; HOLANDA JUNIOR, 2001) sobre os efeitos dos modos de falha (as fissuras), os diferentes tipos de fissuração poderiam ser considerados apenas de ordem estética, já que não se teve registro de que alguma destas fissuras diagnosticadas nos tipos de empreendimentos do estudo tenha comprometido a segurança dos usuários. Embora que com o passar do tempo as mesmas podem comprometer a durabilidade e a vida útil desses empreendimentos e não ter efeitos apenas de ordem estéticas (ANDRADE, 1997), neste estudo não foi considerado que estas falhas afetariam os usuários destes empreendimentos do ponto de vista da segurança. Neste sentido, os índices de severidade (S) assumiram valores variando de 2 a 8 de acordo com os respectivos critérios (vide figura, item 2.4.5.2).

Os índices de ocorrência para cada causa foram atribuídos com base na frequência da ocorrência das falhas nos componentes e elementos da alvenaria estrutural, observadas a partir da análise dos 64 relatórios (visitas).

Quanto ao índice de detecção, nos relatórios não foram registradas ações de correções dos tipos de falhas observadas, pelo que este índice assumiu valores de moderadas a pequena probabilidade de detecção, de acordo com os critérios para a sua atribuição. A detecção de uma falha e a impossibilidade de ações de correção da mesma antes de o produto chegar ao cliente resulta em índices de detecção de valores altos (HELMAN; ANDERY, 1995). Por exemplo, a identificação de juntas de argamassa de espessura variável, na maioria das obras, não implicou na ação de correção de refazer as paredes onde foi observado, tendo assumido índice de detecção em torno de 8 e 9. Neste caso específico em estudo foi o que ocorreu na maioria das situações, de acordo com a análise dos relatórios.

5.3.3.1 Bloco estrutural

Os índices de risco das falhas observadas nos blocos estruturais obtidos pelo FMEA são apresentados na figura 63.

FMEA									
Nome do componente	Função do Componente	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R
Bloco estrutural				Blocos mal armazenados (sobre o solo, sob intempéries)		3	6	6	108
	Garantir a resistência da estrutura	Fissuras horizontais isoladas		Blocos de dimensões inadequadas (variação dimensional)		3	4	6	72
				Blocos mal armazenados (sobre o solo, sob intempéries)		3	6	6	108
		Fissuras verticais isoladas		Blocos de dimensões inadequadas (variação dimensional)		3	5	6	90
				Bloco de baixa resistência		2	9	5	90
				Blocos fissurados		2	5	6	60
		Fissuras inclinadas (escalonadas)		Blocos mal armazenados (sobre o solo, sob intempéries)		3	6	6	108
				Blocos de dimensões inadequadas (variação dimensional)		2	5	6	60
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)		Índice de Risco			
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R = (O) x (S) x (D)
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a 3				
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6				
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8				
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9				
Muito alta	9 a 19			Remota	10				

Figura 63: aplicação do FMEA para bloco estrutural

5.3.3.2 Argamassa de assentamento

A figura 64 apresenta os índices de riscos para cada uma das falhas identificadas na argamassa de assentamento dos blocos estruturais. Estas causas podem ter como modos de falhas nas paredes as fissuras verticais, horizontais e inclinadas.

FMEA										
Nome do componente	Função do Componente	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Argamassa de assentamento dos blocos	Solidarizar as unidades;	Fissura horizontal isolada		Argamassa de baixa resistência		3	4	8	96	
	Transmitir e uniformizar as tensões entre os blocos de alvenaria;			Argamassa mal acondicionada		3	3	7	63	
	Absorver pequenas deformações;									
		Fissura vertical		Argamassa de baixa resistência		3	4	8	96	
				Argamassa mal acondicionada		3	3	7	63	
				Argamassa de baixa resistência		3	4	8	96	
		Fissura inclinda		Argamassa mal acondicionada		3	3	7	63	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco		
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R =	(O) x (S) x (D)
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 64: aplicação do FMEA para a argamassa de assentamento

5.3.3.3 Pontos de graute

Os índices de riscos das causas de falhas nas paredes relacionadas aos pontos de graute estão apresentados na figura 65, a seguir.

FMEA										
Nome do Elemento	Função do Elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Pontos de graute		Fissura vertical (próximo às lajes)		Pontos de graute mal preenchidos (com vazios)		6	6	8	288	
	Aumentar a capacidade da alvenaria à compressão									
				Ausência de pontos de graute		5	5	7	175	
				Pontos de graute sem armadura		5	3	7	105	
	ou permitir que as armaduras resistam às tensões de tração									
				Pouco transpasse da armadura vertical		4	3	5	60	
				Pontos de graute mal preenchidos (com vazios)		6	4	8	192	
		Fissura horizontal		Ausência de pontos de graute		4	6	7	168	
				Pontos de graute sem armadura		4	4	7	112	
				Pouco transpasse da armadura vertical		4	3	5	60	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco		
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R =	(O) x (S) x (D)
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 65: aplicação do FMEA para os pontos de graute

5.3.3.4 Paredes estruturais

A figura 66 mostra os índices de riscos das causas das falhas nas paredes de alvenaria estrutural obtidos pela aplicação do FMEA.

FMEA										
Nome do Elemento	Função do Elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Parede estrutural (alvenaria)	Suportar outras cargas além do seu peso próprio	Fissura horizontal isolada		Rasgo das paredes para passagem de tubulações		7	6	5	210	
		Fissura vertical (tipo escalonada)		Amarração inadequada dos cantos da parede (sem castelinhos)		5	6	6	180	
		Fissura vertical isolada								
				Rasgo das paredes para passagem de dutos		7	5	5	175	
		Fissura inclinda (tipo escalonada)		Amarração inadequada dos cantos da parede (sem castelinhos)		5	5	6	150	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)			Índice de Risco			
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R =	(O) x (S) x (D)
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 66: aplicação do FMEA para as paredes estruturais

5.3.3.5 Junta de argamassa

A figura 67 apresenta os modos de falhas da junta de argamassa e seus possíveis efeitos, relacionadas às duas causas ou falhas verificadas, isto é, espessura variável e preenchimento irregular da junta. Estas causas podem levar aos três modos de falhas, ou seja, fissuras nas três direções. Tendo em conta a gravidade dos seus efeitos, assumiram-se índices de riscos diferentes.

FMEA												
Nome do Elemento	Função do Elemento		Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria		
			Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações	
Junta de argamassa	Solidarizar unidades, transmitir e uniformizar tensões	as	Fissura horizontal, fissura horizontal isolada		Junta de espessura variável e fora das especificações		8	3	9	192		
					Preenchimento irregular da junta (presença de vazios)		6	5	6	180		
			Fissura vertical (escalonada), fissura vertical isolada		Junta de espessura variável e fora das especificações		8	2	9	144		
					Preenchimento irregular da junta (presença de vazios)		6	5	6	180		
			Fissura inclinada (escalonada)		Junta de espessura variável e fora das especificações		8	2	9	144		
					Preenchimento irregular da junta (presença de vazios)		6	3	9	162		
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco				
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1			R =	(O) x (S) x (D)			
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a 3							
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6							
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8							
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9							
Muito alta	9 a 19			Remota	10							

Figura 67: aplicação do FMEA para a junta de argamassa

5.3.3.6 Junta horizontal de movimentação

A figura 68, a seguir, apresenta os índices de riscos das duas causas dos modos de falhas verificadas, juntas não-conforme e ausência de juntas. Estas duas causas podem fazer com que ocorram falhas nas paredes ou fissuras nas três direções.

FMEA											
Nome do Elemento	Função do Elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria		
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações	
Junta horizontal de movimentação da laje (Junta deslizante)	Evitar a transmissão de esforços da movimentação das lajes às paredes em que estão apoiadas	Fissura horizontal e irregularidades na interface parede/ laje		Junta deslizante não-conforme (espessura e largura do material insuficientes, material da junta inadequado)		6	6	8	288		
				Ausência de junta deslizante (laje apoiada diretamente sobre a cinta)		2	8	8	128		
		Fissura vertical na parede		Junta deslizante não-conforme (espessura e largura do material insuficientes, material da junta inadequado)		6	4	8	192		
				Ausência de junta deslizante (laje apoiada diretamente sobre a cinta)		2	6	8	96		
		Fissura inclinada na parede		Junta deslizante não-conforme (espessura e largura do material insuficientes, material da junta inadequado)		6	5	8	240		
				Ausência de junta deslizante (laje apoiada diretamente sobre a cinta)		2	7	8	112		
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco			
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R =	(O) x (S) x (D)	
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3						
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6						
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8						
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9						
Muito alta	9 a 19			Remota	10						

Figura 68: aplicação do FMEA para a junta horizontal de movimentação da laje

5.3.3.7 Junta de dilatação

A figura 69 apresenta os índices de riscos assumidos pelas causas de falhas identificadas no elemento junta de dilatação.

FMEA										
Nome do Elemento	Função do elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Junta de dilatação	Liberar movimentações das paredes devido à variações dimensionais	Fissuras verticais		Junta executada sem isopor no seu interior		5	4	8	160	
				Junta desalinhada		4	3	8	96	
		Fissuras horizontais		Junta executada sem isopor no seu interior		5	3	8	120	
		Fissuras inclinadas		Junta executada sem isopor no seu interior		5	2	8	80	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco		
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R = (O) x (S) x (D)	
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 69: aplicação do FMEA para a junta de dilatação

5.3.3.8 Verga e contraverga

A aplicação do FMEA para a verga e contraverga indica que as causas dos modos de falha ou de fissuras nas paredes verificadas foram o transpasse insuficiente das vergas e contravergas para dentro das paredes, concretagem de contraverga após a elevação da alvenaria, colocação de verga e contraverga pré-moldada após o levante da alvenaria e a ausência de contraverga. Estas causas podem provocar fissuras inclinadas partindo dos cantos dos vãos ou fissuras na direção vertical próximos aos peitoris das janelas. Tendo em conta aos índices de ocorrência, de gravidade e de detecção, cada causa assumiu um risco diferente, conforme a figura 70.

FMEA										
Nome do Elemento	Função do Elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Verga e contraverga	Transmitir/distribuir carregamentos de compressão para as paredes adjacentes aos vãos das aberturas	Fissura inclinada (partindo dos cantos das aberturas)		Transpasse insuficiente da verga para o interior da parde (armadura e ou concreto)		7	7	7	343	
				Concretagem após o levantamento da alvenaria		5	6	6	180	
				Colocação de verga pré-moldada após a execução da alvenaria		3	4	6	72	
				Ausência de contra-verga		2	8	7	112	
	Fissura vertical próximo as aberturas das janelas, fissuras isoladas			Transpasse insuficiente da verga para o interior da parde		7	3	7	147	
				Concretagem após o levantamento da alvenaria		6	3	6	108	
				Ausência de contra-verga		2	8	7	112	
				Quebra de contraverga para passagem de tubulações		3	4	9	108	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)			Índice de Risco			
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1			R =	(O) x (S) x (D)	
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 70: aplicação do FMEA para a verga e contraverga

5.3.3.9 Cinta de amarração

A figura 71 apresenta os índices de riscos para cada uma das falhas identificadas na cinta de amarração. Estas causas podem resultar em falhas nas paredes, fissuras verticais e horizontais.

FMEA										
Nome do Elemento	Função do Elemento	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices			Ações de melhoria	
		Modo	Efeito(s)	Causa(s)		O	S	D	R	Recomendações
Cinta de amarração		Fissura horizontal (na interface entre a parede e laje)		Cinta de amarração desnivelada (excessiva camada de argamassa de nivelamento)		5	4	9	180	
	Função de amarração das paredes, de transmitir e distribuir cargas das lajes para as paredes resistentes									
				Ausência de cinta de amarração		2	7	8	112	
				Falta de ferragem no encontro de paredes		5	5	6	150	
				Quebra de cinta para passagem de tubulações		3	3	9	81	
				Cinta de amarração desnivelada (excessiva camada de argamassa de nivelamento)		5	3	9	135	
		Fissura vertical próxima às lajes		Ausência de cinta de amarração		2	3	9	54	
				Falta de ferragem no encontro de paredes		5	2	6	60	
				Quebra de cinta para passagem de tubulações		3	3	9	81	
Probabilidade de ocorrência (O)		Gravidade (Severidade) (S)		Probabilidade de detecção (D)				Índice de Risco		
Muito remota	1	Apenas perceptível	1	Muito alta	1				R = (O) x (S) x (D)	
Muito pequena	2	Pouca importância	2 a 3	Alta	2 a 3					
Pequena	3	Moderadamente grave	4 a 6	Moderada	4 a 6					
Moderada	4 a 6	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8					
Alta	7 a 8	Extremamente grave	9 a 10	Muito pequena	9					
Muito alta	9 a 19			Remota	10					

Figura 71: aplicação do FMEA para a cinta de amarração

5.3.3.10 Priorização das causas

As figuras 72 a 74, a seguir, apresentam os resultados da aplicação do diagrama de Pareto para a priorização de causas tendo em conta aos índices de riscos obtidos nos formulários do FMEA. Dos resultados obtidos da aplicação do FMEA, as causas e os seus respectivos índices de riscos foram agrupados de acordo com os modos de falha e elaborados diagramas de Pareto com vista a apontar as causas cujas ações corretivas e preventivas são prioritárias, conforme apresentadas nas figuras a seguir.

A figura 72 mostra as principais causas possíveis da manifestação de fissuras na direção horizontal nas paredes dos empreendimentos. A junta horizontal de movimentação da laje (junta deslizante) não-conforme constitui a causa principal de fissura horizontal, seguida de rasgos nas paredes para passagem de tubulações. A ausência de junta deslizante no último pavimento, apesar de constituir uma falha de alto índice de gravidade ou severidade, da aplicação do FMEA foi constatada que não era prioritária porque nos empreendimentos estudados o seu índice de ocorrência assumiu valores baixos, quando comparado ao da junta deslizante executada de forma inadequada. A ausência de cinta de amarração não representa uma causa de risco prioritário, também pelo baixo índice de ocorrência. Além da ausência da cinta não são causas de riscos prioritárias: blocos mal armazenados, argamassa de baixa resistência, a quebra de cinta para a passagem de tubulações, o transpasse da armadura na vertical, as dimensões dos blocos e argamassa mal acondicionada.

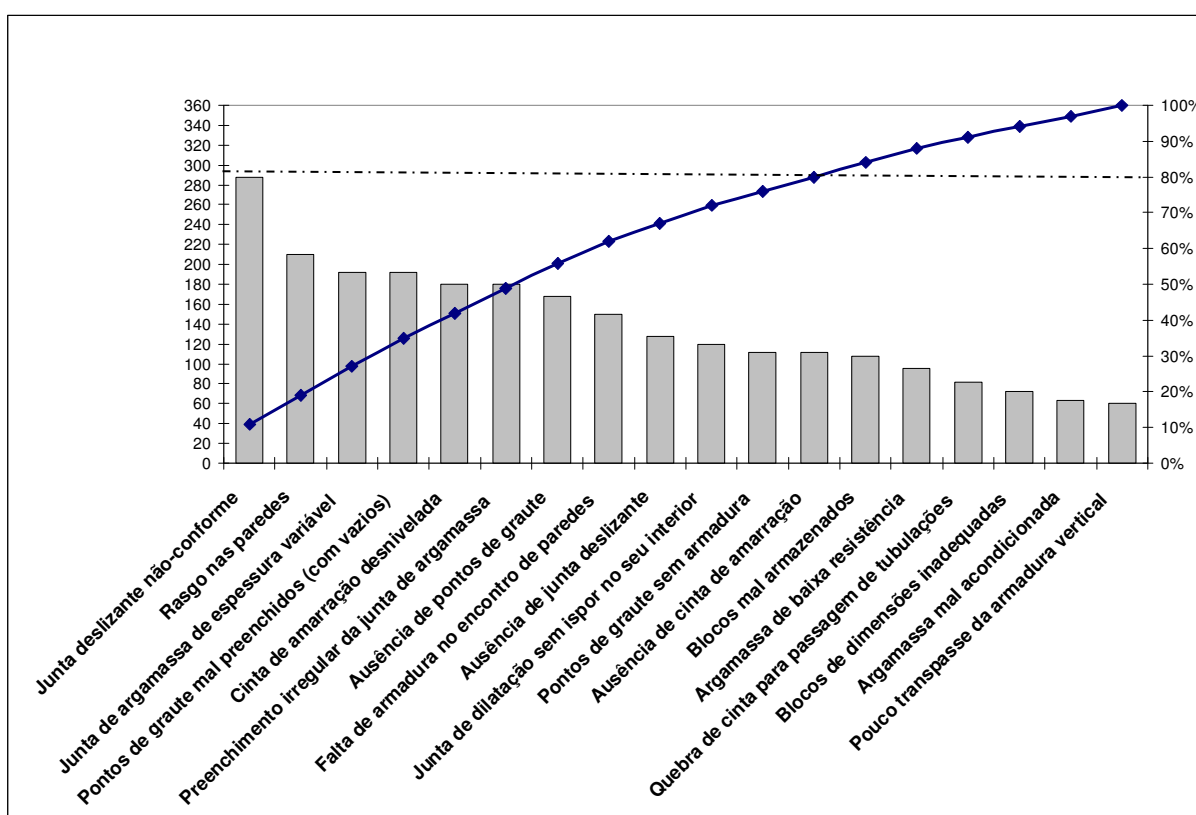


Figura 72: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura horizontal

O diagrama de Pareto da figura 73 revela que as possíveis causas de maior risco para a ocorrência de fissura vertical nas paredes são a junta deslizante não-conforme, amarração inadequada das paredes, ausência de pontos de graute, preenchimento irregular as juntas de argamassa e rasgos excessivos nas paredes para a passagem de tubulações. Os 20% de causas não prioritárias é composto por argamassa de baixa resistência, dimensões dos blocos estruturais, quebra de cinta, a resistência do bloco, argamassa mal acondicionada, falta de armadura no encontro de paredes, blocos com fissuras e ausência de cintas de amarração.

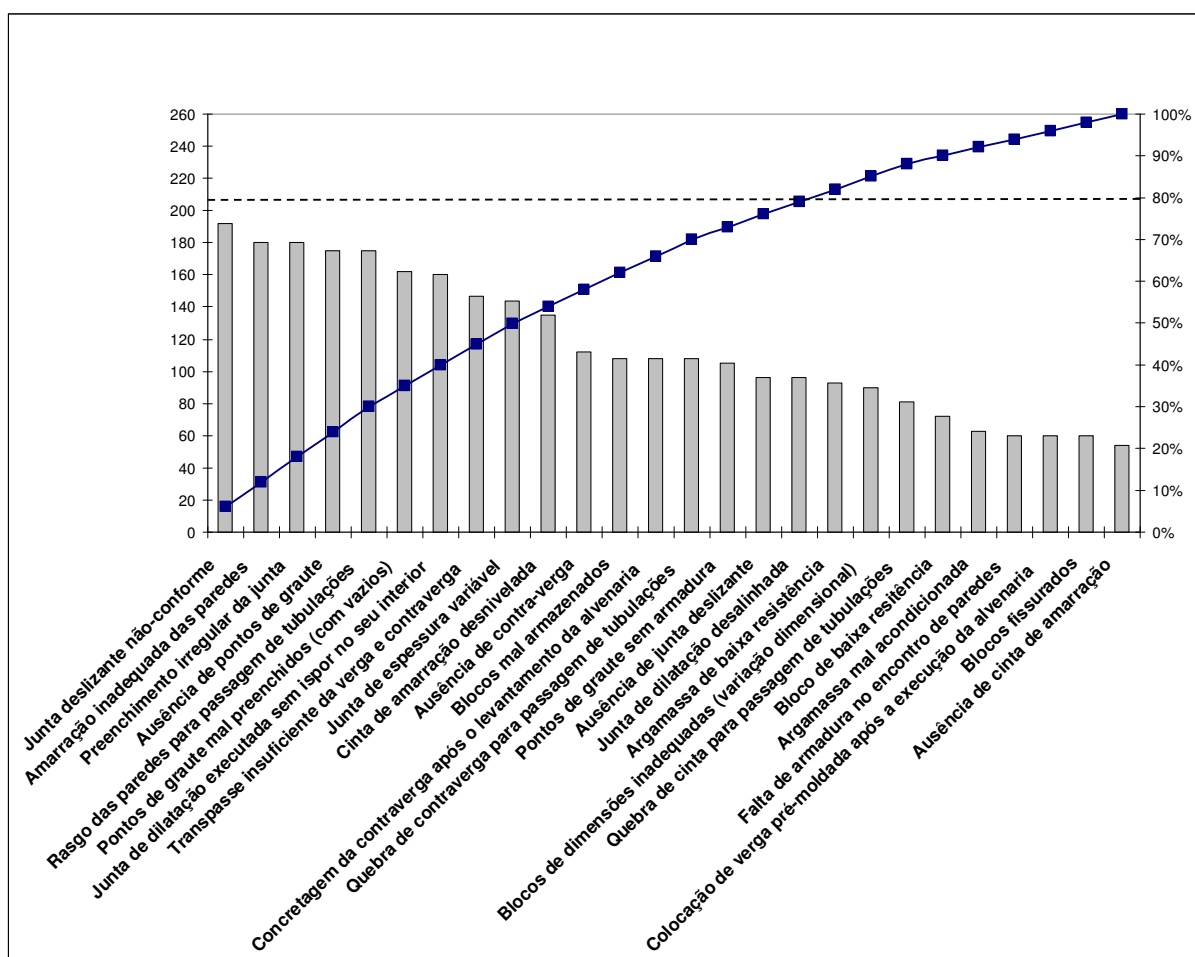


Figura 73: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura vertical

Quanto às causas de fissuras do tipo inclinada, o gráfico da figura 74 ilustra que as causas de risco maior são a de transpasse insuficiente da verga e contra-verga para o interior das paredes, seguida da junta deslizante não-conforme. Pelo o princípio de Pareto completam os 80% de causas de riscos prioritários a concretagem de contravergas após a elevação da alvenaria, argamassa de baixa resistência, o preenchimento irregular das juntas de argamassa, a ausência de junta deslizante, a amarração inadequada das paredes, blocos mal armazenados prejudicando a sua aderência à argamassa e junta da argamassa de espessura variável.

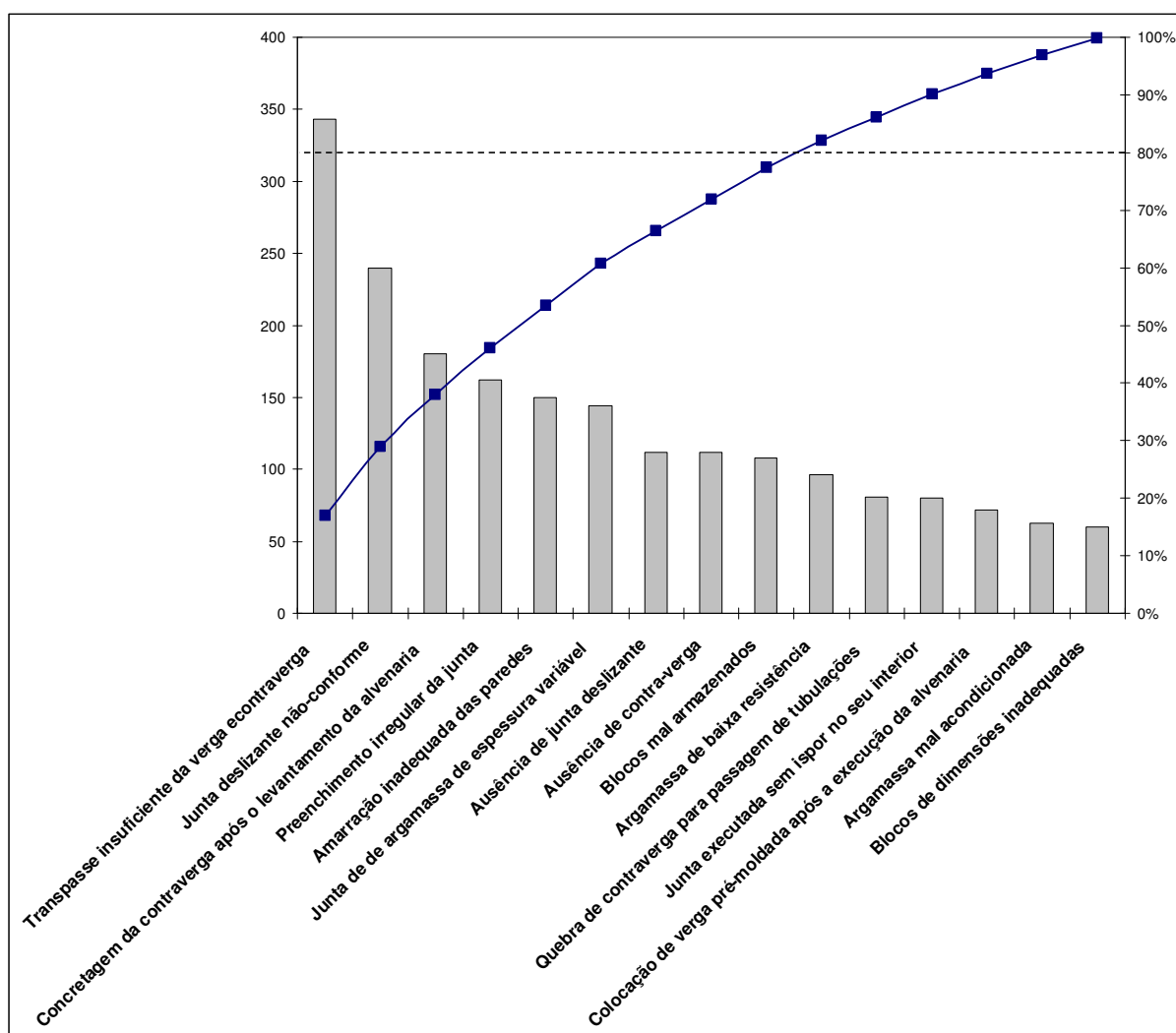


Figura 74: diagrama de Pareto para priorização das causas de fissura inclinada

5.3.3.11 Análise comparativa da priorização das causas

A tabela 3, a seguir, apresenta os dados comparativos da priorização das possíveis causas de falhas para a manifestação de fissuras na direção horizontal, tendo em conta ao número de falhas verificadas por visitas nas obras e após a aplicação do FMEA mediante os índices de risco obtidos. A partir dos dados de cada um dos casos, foi aplicado um Pareto tendo chegado a um percentual que representa a frequência relativa para a priorização das causas, conforme o quadro.

Tabela 3: tabela comparativa de priorização de causas de falhas de fissura horizontal

FALHAS DETECTADAS	Frequência relativa para priorização (%)	
	Visitas	Após o FMEA
Junta deslizando não-conforme	8	11
Rasgos nas paredes para a passagem de tubulações	13	8
Junta de argamassa de espessura variável	16	8
Pontos de graute mal preenchidos (com vazios)	7	8
Cinta de amarração desnivelada	7	7
Preenchimento irregular da junta de argamassa	12	7
Ausência de pontos de graute	4	7
Falta de armadura no encontro de paredes	4	6
Ausência de junta deslizando	1	5
Junta de dilatação sem isopor no seu interior	7	5
Pontos de graute sem armadura	4	4
Ausência de cinta de amarração	1	4
Blocos mal armazenados	6	4
Argamassa de baixa resistência	1	4
Quebra de cinta para passagem de tubulações	1	3
Blocos de dimensões inadequadas	2	3
Argamassa mal acondicionada	1	3
Pouco transpasse da armadura vertical	4	2

A partir da tabela 3 observa-se que, após a aplicação dos índices do FMEA, as frequências e a ordem de priorização das possíveis causas de fissuras horizontal nas paredes foram alterados. A causa junta deslizando não-conforme que teve frequência de ocorrência de 8% após a aplicação do FMEA passou para 11%, assim como também a junta de argamassa de espessura variável com frequência de 16% nas visitas caiu para 8% após o FMEA. Essa variação da frequência para mais ou para menos no quadro comparativo é explicado pelo fato de que nem todas as causas com alto índice de ocorrência apresentam também altos índices de severidade, corroborando com a afirmação de Brassard (1993) de que eventos mais frequentes não são sempre os mais importantes. Essa análise é a mesma para os casos das causas de fissura inclinada e vertical. Além disso, com a aplicação do diagrama de Pareto em cada um dos casos, constatou-se que mais causas foram priorizadas para ações de melhorias após o emprego do FMEA, conforme as figuras 75, 76 e 77. Na figura 75, por exemplo, observa-se por visitas foram priorizados 9 causas para ações de melhorias, enquanto que após o FMEA as causas passaram para um total de 12.

Priorização pela frequência de visitas	Priorização após aplicação do FMEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Junta de argamassa de espessura variável 2. Rasgos nas paredes para a passagem de tubulações 3. Preenchimento irregular da junta de argamassa 4. Junta deslizante não-conforme 5. Cinta de amarração desnivelada 6. Pontos de graute mal preenchidos (com vazios) 7. Junta de dilatação sem isopor no seu interior 8. Blocos mal armazenados 9. Pouco transpasse da armadura vertical 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Junta deslizante não-conforme 2. Rasgos nas paredes para a passagem de tubulações 3. Junta de argamassa de espessura variável 4. Pontos de graute mal preenchidos (com vazios) 5. Cinta de amarração desnivelada 6. Preenchimento irregular da junta de argamassa 7. Ausência de pontos de graute 8. Falta de armadura no encontro de paredes 9. Ausência de junta deslizante 10. Junta de dilatação sem isopor no seu interior 11. Pontos de graute sem armadura 12. Ausência de cinta de amarração

Figura 75: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras horizontais

Priorização pela frequência de visitas	Priorização após aplicação do FMEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Transpasse insuficiente da verga e contraverga 2. Junta de argamassa de espessura variável 3. Preenchimento irregular da junta de argamassa 4. Junta deslizante não-conforme 5. Concretagem da contraverga após o levantamento da alvenaria 6. Junta de dilatação sem isopor no seu interior 7. Amarração inadequada das paredes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transpasse insuficiente da verga e contraverga 2. Junta deslizante não-conforme 3. Concretagem da contraverga após o levantamento da alvenaria 4. Preenchimento irregular da junta 5. Amarração inadequada das paredes 6. Junta de argamassa de espessura variável 7. Ausência de junta deslizante 8. Ausência de contraverga 9. Blocos mal armazenados

Figura 76: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras inclinadas

Priorização pela frequência de visitas	Priorização após aplicação do FMEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Transpasse insuficiente da verga e contraverga 2. Junta de argamassa de espessura variável 3. Rasgo das paredes para passagem de tubulações 4. Preenchimento irregular da junta de argamassa 5. Junta deslizando não-conforme 6. Concretagem após o levante da alvenaria 7. Cinta de amarração desnivelada 8. Pontos de graute mal preenchidos (com vazios) 9. Junta de dilatação sem isopor no seu interior 10. Amarração inadequada das paredes 11. Blocos mal armazenados 12. Pontos de graute sem armadura 13. Falta de armadura no encontro das paredes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Junta deslizando não-conforme 2. Amarração inadequada das paredes 3. Preenchimento irregular da junta 4. Ausência de pontos de graute 5. Rasgo das paredes para passagem de tubulações 6. Pontos de graute mal preenchidos (com vazios) 7. Junta de dilatação executada sem isopor no seu interior 8. Transpasse insuficiente da verga e contraverga 9. Junta de argamassa de espessura variável 10. Cinta de amarração desnivelada 11. Ausência de contraverga 12. Blocos mal armazenados 13. Concretagem da contraverga após o levantamento da alvenaria 14. Quebra de contraverga para passagem de tubulações 15. Pontos de graute sem armadura 16. Ausência de junta deslizando 17. Junta de dilatação desalinhada

Figura 77: tabela comparativa da ordem e o número de priorização de causas de fissuras verticais

5.4 AÇÕES GERENCIAIS E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Partindo das causas de falhas priorizadas pela aplicação do diagrama de Pareto, neste item é apresentado um conjunto de recomendações e ações de melhorias. Ao longo da coleta de dados, da revisão bibliográfica e da aplicação das ferramentas da qualidade, foram identificadas algumas ações de melhorias e recomendações que podem ser adotadas no processo construtivo, visando à melhoria da qualidade dos empreendimentos, apresentadas nas figuras a seguir. São relacionadas ações a cada uma das partes que compõem a alvenaria estrutural, tanto na fase de projeto como na fase de execução. Estas medidas podem contribuir para a redução das falhas e, conseqüentemente, a ocorrência de fissuras nas paredes dos edifícios.

As ações gerenciais podem contribuir para minimizar as causas das falhas ao longo do processo construtivo (projetos, produção e materiais), reveladas no diagrama de causa e efeito (vide item 5.3.1, figura 59) e nos mapas de relações de causa e efeito (vide item 5.3.2, figuras 60, 61 e 62). Já as recomendações técnicas foram listadas a partir dos relatos feitos pelos consultores durante o monitoramento das construções, embasadas na bibliografia consultada.

A figura 78 apresenta algumas ações de melhorias de ordem gerenciais e algumas recomendações técnicas que podem ser seguidas na concepção dos projetos e durante a execução das juntas horizontais de movimentação das lajes, tendo em conta a priorização após a aplicação do FMEA e do diagrama de Pareto.

JUNTA HORIZONTAL DE MOVIMENTAÇÃO DA LAJE (JUNTA DESLIZANTE)		
Junta deslizante não-conforme	AÇÕES GERENCIAIS	
	EXECUÇÃO	PROJETO
	<ul style="list-style-type: none">- Adotar o controle da qualidade da execução do serviço- Padronizar os procedimentos de execução da junta- Treinar e qualificar a mão-de-obra- Controlar o recebimento do material para a junta na obra	<ul style="list-style-type: none">- Contratar projetistas com conhecimento técnico e experiência (qualificados)- Detalhar e especificar a junta- Especificar o material adequado para compor a junta- Controlar a qualidade do projeto
	RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS	
	EXECUÇÃO	PROJETO
	<ul style="list-style-type: none">- Na junta deslizante no último pavimento, o revestimento ou outro tipo de arremate e a pintura devem ser recortados, para evitar sensação de existência de fissura.	<ul style="list-style-type: none">- A junta deve ser composta de material flexível que não degrade com as movimentações impostas pelas lajes. Esse material pode ser de neoprene, teflon, manta asfáltica, ou camada dupla de manta de PVC (THOMAZ; HELENE, 2000).- Nas paredes internas do último pavimento, na interface com a laje, deve ser prevista um friso ou rodaforno para esconder a fissura que poderá aparecer nessa zona
Ausência de junta	AÇÕES GERENCIAIS	
	<ul style="list-style-type: none">- Contratar projetistas com conhecimento técnico e experiência- Controlar a qualidade do projeto	

Figura 78: ações de melhorias e recomendações para a junta deslizante

As falhas verificadas durante o processo de grauteamento das paredes, ausência de pontos de graute e pontos de graute mal preenchidos foram consideradas pela aplicação do FMEA como causas de risco consideráveis

para que ocorram fissuras nos edifícios. Para tanto, a figura 79 a seguir, sugere algumas ações gerenciais e recomendações técnicas que podem ser tomadas com vista a minimizar a ocorrência destas falhas.

PONTOS DE GRAUTE	Ausência de pontos de graute	AÇÕES GERENCIAIS	
		EXECUÇÃO	PROJETO
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução do serviço - Treinar e qualificar a mão-de-obra 	<ul style="list-style-type: none"> - Contratar projetistas com conhecimento técnico e experiência - Controlar a qualidade do projeto
	Pontos de graute mal preenchidos	AÇÕES GERENCIAIS	
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução do serviço - Treinar e qualificar a mão-de-obra 	
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS	
		<ul style="list-style-type: none"> - Antes de fazer o grauteamento limpar os furos, remover as rebarbas de argamassa e molhar os vazados dos blocos - Criar uma equipe na obra para revisar todos os pontos de graute, verificando se estão em conformidade com o projeto - É importante que o eletricista acompanhe a execução da alvenaria para deixar as tubulações posicionadas nos locais onde há grauteamento - Revisar as laterais de janelas de inspeção verificando se foram devidamente preenchidas com graute e armadura para evitar futuras manifestações patológicas - Preencher os pontos de graute em duas etapas. Uma até a altura do peitoril das janelas e outra até a altura do pé direito 	

Figura 79: ações de melhorias e recomendações para os pontos de graute

Em relação à junta de argamassa as falhas observadas, espessura variável e irregularidades no seu preenchimento, dizem respeito à etapa de execução. Neste caso, na figura 80 a seguir são listadas algumas

ações gerenciais que podem ser providenciadas e algumas recomendações técnicas que podem ser seguidas durante a execução da junta.

JUNTA DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	Junta de espessura variável	AÇÕES GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da junta - Treinar e qualificar a mão-de-obra - Utilizar ferramentas e equipamentos adequados (palheta, canaleta, escantilhão) - Evitar a rotatividade da mão-de-obra no canteiro
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar escantilhão para uniformizar as espessuras das juntas horizontais
	Juntas mal preenchidas (presença de vazios)	AÇÕES GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da junta - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Em caso de irregularidades no preenchimento das juntas, estas devem ser preenchidas antes da aplicação do chapisco, evitando a manifestação de fissuras devido ao aumento da espessura da argamassa

Figura 80: ações de melhorias e recomendações para a junta de argamassa

A cinta de amarração desnivelada e a armadura sem traspasse nos cantos foram reveladas como sendo inconformidades a serem eliminadas ou reduzidas no processo. Para isso a figura 81 apresenta algumas ações de melhorias e recomendações para se conseguir melhorias na sua execução, evitando o possível surgimento de fissuras nas paredes dos empreendimentos.

CINTA DE AMARRAÇÃO	Cinta desnivelada	AÇÕES DE GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da cinta - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Corrigir eventuais desníveis no ato de assentamento da primeira fiada de blocos evitando a mesma seja repassado à cinta - Utilizar argamassa de traço 1:4 (cimento: areia) para corrigir o desnível no assentamento da primeira fiada e quando chegar à sétima fiada conferir novamente o nível para qualquer eventual irregularidade - Utilizar escantilhão para uniformizar as espessuras das juntas horizontais - Na cinta de amarração do último pavimento fazer a regularização onde será colocada a junta de movimentação - Concretar a cinta de respaldo antes da montagem da forma das lajes deixando as esperas para a passagem dos eletrodutos de instalações
	Armadura da cinta sem transpasse nos cantos	AÇÕES GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da cinta - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Reforçar os cantos dos prédios com armadura nos cantos do prédio para aumentar a rigidez da cinta de amarração nestes locais

Figura 81: ações de melhorias e recomendações para a cinta de amarração

As figuras 82 e 83, a seguir, indicam ações de melhorias necessárias e recomendações técnicas que podem ser adotadas para evitar defeitos nas paredes estruturais de alvenaria. As ferramentas da qualidade evidenciaram duas causas de falhas prioritárias para tratamento com vista à melhoria da qualidade na execução das paredes.

O rasgo excessivo das paredes para a passagem de tubulações e a amarração de forma inadequada das paredes.

PAREDE ESTRUTURAL	Rasgos nas paredes para a passagem de tubulações	AÇÕES DE GERENCIAIS	
		EXECUÇÃO	PROJETO
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da junta - Utilizar equipamentos adequados para fazer os rasgos - Treinar e qualificar a mão-de-obra 	<ul style="list-style-type: none"> - Compatibilizar os projetos (arquitetônico, estrutural e de instalações) - Elaborar projetos executivos - Criar forma de gestão das alterações de projeto solicitadas pelos clientes evitando quebras da alvenaria
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS	
		<ul style="list-style-type: none"> - Executar as tubulações concomitantemente com o assentamento dos blocos evitando a quebra nas paredes para correção de erros. Isto é, o eletricista e o canalizador devem acompanhar os pedreiros na elevação das paredes - Nunca quebrar blocos para completar vãos decorrentes de erros de execução - Utilizar equipamento apropriado para fazer cortes em alvenaria - Na execução dos “<i>shafts</i>” utilizar junta a prumo com o uso de tela ficando o levante da alvenaria deste para posterior evitando a quebra das paredes - Deve-se evitar qualquer tipo de corte nas paredes. Entretanto, quando necessário o recorte na vertical deve ser de no máximo de 4 blocos (atendendo os valores recomendados no item 3.1.4.2, figura 11). 	

Figura 82: ações de melhorias e recomendações para a parede estrutural

PAREDE ESTRUTURAL	AÇÕES DE GERENCIAIS		
	Amarração inadequada das paredes	EXECUÇÃO	PROJETO
		-Adotar o controle da qualidade da execução do serviço	- Explicitar os projetos de primeira fiada e elevações da alvenaria bem como família de blocos a ser utilizada
		-Padronizar os procedimentos de execução da junta	- Especificar e detalhar no projeto a amarração por interpenetração ou outra forma de amarração
		- Treinar e qualificar a mão-de-obra	
	RECOMENDAÇÕES TÉCNICA		
	- Adotar como técnica de execução de amarração o tipo “castelinho” que é o mais indicado na continuidade das paredes - Quando a parada da alvenaria não for do formato “castelinho” deve-se grautear estes pontos		

Figura 83: ações de melhorias e recomendações para a parede estrutural

Quanto às vergas e contravergas, das falhas identificadas nos relatórios, o FMEA e o diagrama de Pareto designaram como causas de maior risco para a ocorrência de fissuras nas paredes, o traspasse insuficiente das mesmas para o interior das paredes e a concretagem das contravergas após a elevação da alvenaria. A figura 84, a seguir, sugere ações corretivas e recomendações a serem seguidas para que estes elementos sejam executados de forma adequada e atenderam as suas funções desejadas no processo construtivo.

VERGA E CONTRAVERGA	AÇÕES DE GERENCIAIS	
	Traspasse insuficiente para o interior das paredes	EXECUÇÃO
		PROJETO
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da verga e da contraverga - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Seguir o traspasse para o interior das paredes conforme o projeto - Executar vergas e contravergas contínuas quando se tem aberturas muito próximas - Adotar a prática do uso de vergas e contravergas pré-moldadas
	Concretagem	AÇÕES DE GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar o controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da verga e da contraverga - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - Concretagem deve ser feita antes da elevação da alvenaria, evitando a concretagem lateral ou pelo furo dos blocos - Caso existam eletrodutos que ultrapassem as vergas e contravergas, deverão ser deixadas passagens na concretagem para tais eletrodutos, evitando a danificação das mesmas - As contravergas devem ser concretadas logo após o assentamento dos blocos canaletas. Evitando que a armadura seja colocada em comprimento menor que a peça, e evitando o acúmulo de argamassa no seu interior resultante do assentamento da alvenaria

Figura 84: ações de melhorias e recomendações para a verga e contraverga

A junta de dilatação executada sem isopor ou semelhante no seu interior foi identificada como sendo uma causa de risco de surgimento de fissuras nas paredes dos empreendimentos executados em alvenaria estrutural. A figura 85 ilustra ações de melhorias e recomendações que são necessárias para reduzir a ocorrência dessa inconformidade.

JUNTA DE DILATAÇÃO	Junta executada sem isopor ou semelhante no seu interior	AÇÕES DE GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar controle da qualidade da execução do serviço - Padronizar os procedimentos de execução da junta - Treinar e qualificar a mão-de-obra
		RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - É necessário e importante colocar um material deformável, como isopor, na junta de dilatação durante a elevação da alvenaria evitando o seu fechamento devido à queda de argamassa no seu interior - As juntas devem ser retificadas junto às faces para não passar ao cliente a idéia de fissuras nas paredes - As juntas devem ser fechadas com material flexível. Pode-se utilizar para o fechamento chapas de alumínio fixo em um dos lados da parede que compõe a junta

Figura 85: ações de melhorias e recomendações para a junta de dilatação

A figura 86 apresenta ações de melhorias e recomendações que podem ser adotadas para evitar falas em relação ao armazenamento dos blocos nos canteiros de obras.

BLOCO ESTRUTURAL	Bloco mal armazenado	AÇÕES GERENCIAIS
		<ul style="list-style-type: none"> - Adotar controle de recebimento dos blocos - Padronizar os procedimentos de armazenagem dos blocos - Treinar e qualificar a mão-de-obra - Armazenar os blocos em terreno plano - É importante proteger os blocos com lona plástica para evitar a ação das chuvas - Armazenar os blocos sobre estrado evitando o contato direto com o solo, sob pena de se prejudicar a sua aderência à argamassa posteriormente .

Figura 86: ações de melhorias e recomendações para o bloco estrutural

A baixa resistência da argamassa de assentamento dos blocos considerada uma causa de risco para que surjam fissuras nas paredes. A figura 87, a seguir, ilustra algumas ações e recomendações que podem ser adotadas com vista evitar a ocorrência da falhas.

AÇÕES GERENCIAIS		
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	Baixa resistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar a qualidade da argamassa - Padronizar os procedimentos de confecção da argamassa - Treinar e qualificar a mão-de-obra - Especificar no projeto a resistência da argamassa - Especificar a resistência necessária para a argamassa
		<ul style="list-style-type: none"> - O armazenamento da argamassa de assentamento deve ser recipiente de material impermeável (aço ou PVC) para evitar a perda da água necessária à hidratação do cimento - Devem-se controlar as medidas para o traço da argamassa - Utilizar argamassa ao traço 1:4 (cimento: areia) para corrigir eventuais desníveis no assentamento da primeira fiada - Não produzir argamassa em grande quantidade para evitar que a mesma fique armazenada mais de duas horas até sua utilização - O material para argamassa deve estar armazenado em baias

Figura 87: ações de melhorias e recomendações para a argamassa de assentamento

5.4.1 Quadro resumo das melhorias gerenciais e recomendações técnicas

A figura 88, a seguir, apresenta um resumo das ações propostas tendo em vista a minimização de falhas no processo construtivo visando a melhoria da qualidade dos empreendimentos.

AÇÕES DE MELHORIAS (GERENCIAS)	Junta de argamassa	Verga e contraverga	Junta deslizante	Junta de dilatação	Cinta de amarração	Pontos de graute	Paredes	Blocos	Argamassa
Controle da qualidade do serviço de execução	X	X	X	X	X	X	X		
Padronização dos procedimentos de execução	X	X	X	X	X	X	X		
Padronização da técnica construtiva	X	X	X	X	X	X	X		
Treinar e qualificar a mão-de-obra	X	X	X	X	X	X	X	X	
Controlar o recebimento de material em obra								X	X
Controlar a qualidade do projeto		X	X	X	X	X	X		
Contratar projetistas com experiência e conhecimento técnico		X	X	X	X	X			
Melhorias no detalhamento e especificação dos projetos		X	X				X	X	X
Utilização de ferramentas e equipamentos adequados	X						X		
Evitar a rotatividade da mão-de-obra no canteiro	X	X	X	X	XX		X		
Compatibilização de projetos							X		
Elaboração de projetos executivos							X		
Gestão de alterações de projetos solicitadas pelos clientes							X		
Padronização de procedimentos de armazenagem								X	X
Revisar projetos antes do início das obras		X	X	X	X	X	X		
Controle tecnológico dos componentes								X	X

Figura 88: quadro resume de ações de melhorias

Partindo das recomendações, foram elaborados resumos de alguns itens que podem ser controlados, ao longo do processo construtivo, conforme as figuras 89, 90 e 91, a seguir.

Itens de controle de qualidade de projetos
<ul style="list-style-type: none"> • Junta de movimentação horizontal da laje (junta deslizante) composta de material flexível (neoprene, teflon, manta asfáltica, ou camada dupla de manta de PVC) que não degrade com as movimentações impostas pelas lajes. • Verificar se nas paredes internas do último pavimento, na interface com a laje está prevista friso ou roda-forro para esconder a fissura que poderá aparecer nessa zona. • Verificar se há reforços com traspasse de armadura nos cantos dos prédios para aumentar a rigidez da cinta de amarração nestes locais

Figura 89: itens de controle da qualidade dos projetos

Itens de controle da qualidade de execução
<ul style="list-style-type: none"> • Na junta deslizante no último pavimento, o revestimento ou outro tipo de arremate e a pintura devem ser recortados, para evitar sensação de existência de fissura. • Conferir a limpeza dos furos, remover as rebarbas de argamassa e molhar os vazados dos blocos antes de fazer o grauteamento • Verificar se os pontos de graute estão em conformidade com o projeto • Verificar se os eletrodutos estão posicionadas nos locais onde haverá grauteamento • Revisar as laterais de janelas de inspeção verificando se foram devidamente preenchidas com graute e armadura para evitar futuras manifestações patológicas. • Verificar e corrigir eventuais desníveis no ato de assentamento da primeira fiada de blocos evitando que os mesmos sejam repassados à cinta. • Utilizar argamassa de traço 1:4 (cimento: areia) para corrigir o desnível no assentamento da primeira fiada e quando chegar à sétima fiada conferir novamente o nível para qualquer eventual irregularidade • Verificar a regularização da cinta de amarração do último pavimento onde será colocada a junta de movimentação horizontal (deslizante)

Figura 90: itens de controle da qualidade da execução

Itens de controle da qualidade de execução
<ul style="list-style-type: none"> • Checar de concretagem da cinta de amarração antes da montagem da forma das lajes e as esperas para a passagem dos eletrodutos de instalações • Verificar se a execução das tubulações está sendo feita concomitantemente com o assentamento dos blocos evitando a quebra nas paredes para correção de erros • Checar se o recorte vertical na alvenaria está atendendo o valor máximo de da altura de 4 blocos • Verificar se é adotado como técnica de execução a amarração de paredes o tipo “castelinho” • Checar se o transpasse das vergas e contravergas para o interior das paredes estão conforme o projeto • Verificar se a concretagem da contraverga é feita antes da elevação da alvenaria • Verificar se são deixadas esperas nas vergas e contravergas para a passagem de tubulações para as instalações • Checar se é colocado material deformável, como isopor, na junta de dilatação durante a elevação da alvenaria

Figura 90: itens de controle da qualidade da execução (continuação)

Itens de controle de materiais (componentes)
<ul style="list-style-type: none"> • Adotar controles de recebimento dos blocos na obra • Verificar a padronização dos procedimentos de armazenagem dos blocos • Verificar se os blocos são armazenados em <i>pallets</i> e em terreno plano e sem contato com o solo • Checar se os blocos são protegidos com lona plástica em caso de chuvas • Checar se o armazenamento da argamassa de assentamento é feito em caixas de material impermeável • Controlar a quantidade de argamassa produzida, evitando que a mesma fique armazenada mais de duas horas até sua utilização Na junta deslizante no último pavimento, o revestimento ou outro tipo de arremate e a pintura devem ser recortados, para evitar sensação de existência de fissura.
Melhoria no uso de equipamentos
<ul style="list-style-type: none"> • Usar escantilhão para uniformizar as espessuras das juntas horizontais • Utilizar equipamento apropriado para fazer cortes em alvenaria

Figura 91: itens de controle de materiais e equipamentos

5.5 BOAS PRÁTICAS

Nas figuras 92 a 101, a seguir, são listadas as boas práticas identificadas e os respectivos empreendimentos. Estas práticas adotadas não constituem propriamente em inovações gerenciais ou tecnológicas, mas representam ações que foram destacadas pelos consultores. Se adotadas e disseminadas pelas empresas que constróem em alvenaria estrutural, muitas das falhas observadas podem ser evitadas, reduzindo assim as possibilidades de manifestação de patologias nos empreendimentos.

BOAS PRÁTICAS	EMPREENHIMENTO
Realizar treinamento da mão-de-obra no início da obra	E1, E2, E5, E10, E11
Produzir lista das não-conformidades para as devidas correções posteriores	E5
Realizar revisões nos projetos antes de iniciar a obra	E11, E13
Realizar treinamentos periódicos com os profissionais e encarregados da execução da alvenaria	E1, E2

Figura 92: lista de boas práticas de ordem gerenciais

O treinamento da mão-de-obra no início foi uma boa prática identificada nas obras de execução dos empreendimentos E1, E2, E5, E10 e E11. Conforme apontado na bibliografia, esta prática é considerada importante (vide item 3.2.2.4). Neste treinamento devem ser passados aos intervenientes da obra alguns princípios básicos do processo construtivo de alvenaria estrutural e algumas das recomendações técnicas descritas nos itens 3.1 e 5.4

As empresas construtoras dos empreendimentos E1 e E2, além de treinarem a mão-de-obra no início da construção, realizavam treinamentos periódicos da mão-de-obra. A empresa que executava o empreendimento E5 adotava a boa prática de documentar sistematicamente as não-conformidades, para realizar ações corretivas evitando a recorrência dos problemas. A revisão de projetos antes de iniciar a obra é uma prática importante destacada nas construtoras dos empreendimentos E11 e E13, que permite identificar não inconformidades e inconsistências nos projetos evitando soluções de improvisações durante a execução das obras.

A figura 93 apresenta duas boas práticas adotadas nos empreendimentos E10, E12 e E13 que podem ajudar a evitar falhas nas juntas de argamassa.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Junta de argamassa	Utilizar escantilhão para auxiliar na prumada e alinhamento dos blocos, utilizando linhas de 20 em 20 cm	E10, E12
	Usar ferramentas adequadas, tais como canaletas para a colocação dos filetes de argamassa	E13

Figura 93: boas práticas na execução das juntas

Na execução de vergas e contravergas nos empreendimentos E9, E12 e E13 foram observadas algumas boas práticas, conforme a figura 94.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Verga e contraverga	Escoramento adequado dos blocos canaleta das vergas	E9
	Padronização dos escoramentos das vergas das janelas	E12
	Transpasse das contravergas adequado e com esperas para passagem dos dutos das instalações	E13

Figura 94: boas práticas na execução de vergas e contravergas

A empresa construtora do empreendimento E12 adotou a prática de padronizar a forma de escoramento das vergas das janelas durante a concretagem, utilizando dois pontos de apoio. Em relação às contravergas no empreendimento E13, além de se cuidar o transpasse da mesma para o interior das paredes, mediante controle, ela deixava no ato da concretagem um pedaço de tubo de diâmetro maior do que o das tubulações para instalações, servindo de esperas para a futura passagem das instalações. Com esta prática evitam-se improvisações e a necessidade de se quebrar as contravergas para efetuar os trabalhos das instalações.

A figura 95 ilustra algumas boas práticas verificadas nas obras dos empreendimentos E5, E17 e E9, relacionadas à junta de movimentação horizontal das lajes.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Junta horizontal de movimentação da laje (junta deslizante)	Utilização de rodaforro de gesso nas paredes do último pavimento para cobrir a junta de apoio das lajes	E5
	Junta deslizante no último pavimento executada com duas camadas de manta asfáltica (2 x 3 mm) e uma de isopor	E17
	Na laje de cobertura, após a concretagem da cinta de amarração, se passada argamassa colante com desempenadeira de aço, para deixar a superfície lisa para receber o material que compõe a junta	E9

Figura 95: boas práticas na execução da junta deslizante

A boa prática de utilizar um rodaforro para encobrir a junta horizontal formada entre a laje do último pavimento e as paredes que apóiam a mesma foi constatada na execução do empreendimento E5. A adoção desta prática não deixa a junta à vista do usuário tirando-lhe a sensação de fissura no local, sendo que é uma ação muito recomendada na literatura. Como boa prática de material para formar a junta deslizante a empresa executora do empreendimento E17 adota duas camadas de manta asfáltica e uma de isopor, conforme as recomendações de Thomaz e Helene (2000). A boa prática de desempenho da cinta com a utilização de argamassa colante deixa a superfície mais lisa, minimizando o atrito entre as duas superfícies, liberando a movimentação das lajes.

Quanto à cinta de amarração, foram identificadas duas boas práticas, conforme a figura 96.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Cinta de amarração	Colocação de uma camada de regularização para receber as lajes pré-moldadas	E18
	Na concretagem das cintas são deixados tubos de 40 mm para facilitar a passagem dos eletrodutos	E19

Figura 96: boas práticas na execução da cinta de amarração

A figura 97 apresenta duas boas práticas empregadas em quatro dos empreendimentos relacionadas à aplicação do graute.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Grauteamento	Nas posições previstas para grauteamento deixavam-se janelas de inspeção na primeira fiada de blocos, para a limpeza dos furos a serem grauteados.	E12, E18
	No último pavimento a empresa aumenta o número de pontos de graute	E6, E7

Figura 97: boas práticas na execução do grauteamento

As janelas de inspeção deixadas na primeira fiada de blocos é uma ação muito recomendada no processo de grauteamento (vide item 3.1.3.3). Permite que os furos a serem grauteados sejam molhados e limpos, tirando restos de matérias, como argamassa seca, evitando a ocorrência de vazios ao longo da parede grauteada. O aumento do número de pontos de graute no último pavimento, verificada nos empreendimentos E6 e E7, permite aumentar a rigidez das paredes destes pavimentos, ajudando na prevenção da manifestação de fissuras nestas paredes, motivadas pelas movimentações das lajes.

Na elevação das paredes de alvenaria foi constatado o maior número de boas práticas, conforme apresentada na figura 98.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Parede estrutural	Utilização de esquadro de alumínio para auxiliar na marcação dos cantos da obra, o que facilita a colocação do piso posteriormente	E9
	Amarrações das paredes executadas de forma adequada - tipo castelo	E9, E11, E12
	O eletricista trabalhava concomitantemente com os pedreiros durante a execução da alvenaria	E11
	Projetos junto aos pedreiros na hora de execução da alvenaria	E12
	Ao lado de todas as janelas dos dormitórios e da sala são deixadas esperas de tubulações para atender a futuras instalações de aparelhos	E13
	Os cortes verticais nas paredes seguem as recomendações que é no máximo de quatro blocos	E16
	A construtora faz o uso do escantilhão para auxiliar na prumada e alinhamento dos blocos, utilizando linhas de 20 em 20 cm	E10, E12
	Recortes nos blocos para as caixas de passagem feitas no local, mas utilizando ferramenta apropriada (tipo “makita”)	E19

Figura 98: boas práticas na elevação das paredes de alvenaria

A utilização do esquadro de alumínio é importante para o alinhamento dos cantos das paredes dos edifícios, pois é a ferramenta essencial para se conseguir o esquadro das paredes (ROMAN *et al.*, 1999). A interrupção da elevação dos cantos das paredes no formato castelinho é uma prática recomendável, uma vez que permite uma melhor amarração das paredes, evitando a ocorrência de fissuras nas paredes (SABBATINI, 2003). Esta prática foi observada em alguns dos empreendimentos como E9, E11 e E12. Na elevação da alvenaria é recomendável que o encanador ou eletricista acompanha o trabalho dos pedreiros, identificando os pontos de luz e de água e embutindo as tubulações nas paredes. Esta prática verificada na execução do empreendimento E11, evita improvisos posteriores, como o rasgo das paredes para executar as instalações. Os projetos de elevação da alvenaria na mão dos pedreiros é uma prática importante, pois ajuda os mesmos a visualizar os detalhes de como as paredes devem ser executadas (vide item 3.1.4.2). Detalhes como os tipos de amarrações e tipos de blocos a serem utilizados. As tubulações deixadas ao lado de janelas de sala e dormitórios é uma boa prática

que evita quebras futuras nas paredes para instalação de aparelhos, como o ar condicionado. Esta prática foi verificada na execução do empreendimento E13. O uso do escantilhão além de ajudar na uniformização da espessura das juntas de argamassa é um equipamento importante a ser utilizado na elevação das paredes, uma vez que facilita na obtenção de paredes com alinhamento adequado (PENTEADO, 2003). A boa prática de utilização de equipamento apropriado para fazer recortes em paredes foi observada na obra do empreendimento E19. Esta prática evita impactos nas paredes, minimizando assim a ocorrência de falhas, como a perturbação da aderência da argamassa da junta aos blocos estruturais (vide item 3.1.4.2).

A figura 99 apresenta algumas práticas em relação aos blocos estruturais, durante a execução de alguns dos empreendimentos.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENHIMENTO
Blocos estruturais	Os blocos cerâmicos são limpos antes do assentamento, para remover parte do pó existente nos mesmos	E10, E12
	Os blocos chegavam à obra sobre pallets e eram descarregados com equipamento mecanizado, reduzindo pequenas as quebras nas faces dos mesmos	E12
	Recortes dos blocos para instalações feitos com máquina apropriada, em uma central de corte	E14, E16, E18

Figura 99: boas práticas, blocos estruturais

A prática de molhar os blocos cerâmicos antes de aplicá-los foi verificada em dois dos empreendimentos. Esta ação visa diminuir o índice de sucção dos blocos, que pode prejudicar a qualidade da argamassa em relação a sua resistência. Também a molhagem dos blocos elimina a presença de poeira nos blocos que pode prejudicar a sua aderência a argamassa. Os cortes feitos nos blocos para acomodar caixas para instalações feitas com máquina apropriada, em uma central de corte, antes do seu assentamento é uma boa prática de canteiro que foi identificada na execução de alguns empreendimentos, E14, E16, E18. Esta prática evita que depois de assentados seja empregue procedimentos não apropriados para executar as caixas de luz.

Foram verificadas algumas boas práticas de canteiros relacionadas à argamassa de assentamento, conforme ilustrado na figura a seguir 100.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Argamassa de assentamento	Mistura da argamassa próxima ao local da elevação da alvenaria	E9, E12
	No assentamento da primeira fiada era usada argamassa ao traço 1:4 para corrigir desníveis nas lajes	E10
	A argamassa para o assentamento dos blocos armazenada em caixas impermeáveis	E10, E13

Figura 100: boas práticas, argamassa de assentamento

A prática de misturar a argamassa próxima ao local da sua utilização constitui uma boa prática adotada nos canteiros de obras dos empreendimentos E9 e E12. No empreendimento E10 quando se verificava um aumento na espessura da junta de argamassa para o assentamento da primeira fiada, devido ao desnível do piso da laje, se utilizava argamassa de cimento e areia ao traço 1:4, para aumentar a sua resistência. É recomendável que se utilize caixas impermeáveis para acondicionar a argamassa durante a execução da alvenaria, evitando a perda da água e do aglomerante necessária à hidratação do cimento. Esta prática foi notada nas obras dos empreendimentos E10 e E13.

Na execução de alguns dos empreendimentos foram detectadas algumas práticas com relação às juntas de dilatação, conforme a figura 101.

BOAS PRÁTICAS		EMPREENDIMENTO
Junta de dilatação	Na execução da junta a empresa faz o levantamento da primeira parede, limpa as rebarbas, coloca o isopor e levanta a segunda parede	E9, E10, E11, E12, E15, E16
	Utilização de chapa galvanizada parafusada em um dos lados sobre as juntas de dilatação	E15
	Na concretagem do contrapiso é utilizado um sarrafo de madeira de 2,0 cm de espessura para que a junta de dilatação não seja fechada	E16

Figura 101: boas práticas na execução da junta de dilatação

Em cinco dos empreendimentos do estudo foi identificada a boa prática na junta de dilatação que consistia no levantamento de uma das paredes, fazer a limpeza das rebarbas, introduzir o isopor no seu interior e em seguida levantar a segunda parede, conforme recomendado na figura 76. Essa ação impede que a junta seja preenchida com sobras de argamassa de assentamento e evitando a perda da função da junta. A empresa construtora do empreendimento E15 utilizava uma chapa galvanizada parafusada em dos lados da junta, como forma de tratamento da mesma, escondendo-a. Para impedir o fechamento da junta de dilatação durante a execução do

contrapiso no empreendimento E16 era introduzido na junta um sarrafo de madeira de 2,0 cm de espessura, que posteriormente era retirado.

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes modos de falhas identificadas no estudo revelam que, apesar das empresas construtoras serem todas certificadas no SiAC do PBQP-H, os problemas relacionados principalmente ao controle da qualidade dos processos (projeto e de produção) persistem. A partir da aplicação do método proposto pode-se observar, após a aplicação do mapa de causa e efeito, que as causas básicas da ocorrência das falhas ao longo do processo são relacionadas a gestão e algumas técnicas adotadas nos processos de projeto, de produção e no controle dos materiais. Além disso, observa-se que as causas da ocorrência de uma determinada falha podem ser múltiplas e inter-relacionadas, demonstrando que o diagnóstico das causas reais da fissuração nos empreendimentos pode ser dificultado. Porém pode-se atuar na prevenção destas ocorrências, mediante a adoção de ações necessárias, entre as quais as apresentadas nesta pesquisa, baseadas no nível quatro dos mapas de causa e efeito e nas ações necessárias de melhorias e recomendações feitas a partir da aplicação do FMEA. As recomendações e boas práticas identificadas não constituem ações inovadoras, mas observou-se que várias das empresas não as adotam, desencadeando um conjunto de falhas que acabam por comprometer a qualidade dos empreendimentos

De maneira geral, o método proposto mostrou-se útil para identificar as principais manifestações patológicas, as várias categorias de causas de falhas (primárias, secundárias e terciárias), as causas de falhas por afinidades (projetos, execução e materiais) e as suas inter-relações através do mapa de relações de causa e efeito, avaliar os riscos das causas mediante a aplicação do FMEA, e por fim o diagrama de Pareto para a priorização das mesmas. Entretanto, o mesmo apresentou algumas limitações entre as quais ressalta-se a aplicação do mapa de relação de causa e efeito e do FMEA. Após a aplicação dos mesmos detectou-se que a ordem de aplicação dessas duas ferramentas poderia ser invertida, ou seja, o FMEA antes do mapa. Com essa inversão, o mapa de relações poderia ser facilitado, uma vez que este poderia ser elaborado a partir das causas priorizadas pelo FMEA. Também na aplicação do FMEA, a atribuição dos índices de severidade e de detecção, apesar dos critérios para sua atribuição, poderia ser menos subjetiva, caso os mesmos fossem atribuídos mediante uma discussão conjunta com os especialistas, ao invés de forma individual. Outro aspecto a considerar se refere à coleta de dados necessários. Neste sentido, o método proposto pode ser refinado e facilitado caso na coleta dos dados seja estabelecida medidas de intensidade das falhas no processo de produção, onde pode-se exemplificar a percentagem de elementos executados de forma inadequada ou a percentagem de trabalhadores executando o processo de forma inadequada. Além disso, também seriam necessários dados mostrando com que frequência as falhas detectadas são corrigidas ao longo do processo construtivo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente capítulo são apresentadas as principais conclusões desta dissertação, assim como sugestões para futuros estudos.

6.1 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um método para analisar as relações de causa e efeito entre manifestações patológicas e falhas no processo construtivo da alvenaria estrutural em empreendimentos habitacionais de baixa renda, visando a melhoria da qualidade dos mesmos. O estudo foi desenvolvido a partir de dados secundários, principalmente de relatórios de acompanhamento deste tipo de empreendimentos elaborados por especialistas neste sistema construtivo. Pode-se concluir que esses dados mostraram-se adequados e suficientes para a realização desta pesquisa, sem a necessidade de novos dados através de observação direta. Essa constatação é corroborada pela afirmação de Spengler *et al.* (1999), de que é necessário e importante saber lidar com dados de problemas anteriores e aproveitá-los em vez de simplesmente reunir mais informações.

A seguir, apresentam-se as principais conclusões obtidas, buscando responder à questão principal de pesquisa: Como identificar as relações de causa e efeito no estudo das manifestações patológicas da alvenaria estrutural empreendimentos de baixa renda?. Para responder esta pergunta, a mesma foi desdobrada em quatro questões secundárias discutidas a seguir.

Para responder a primeira questão secundária (como identificar as principais formas de manifestações patológicas nos empreendimentos em estudo?), foi utilizado o gráfico ou diagrama de Pareto, para a priorização dos defeitos anteriormente diagnosticados (RICHTER, 2007). Da aplicação desta ferramenta foi possível observar que a principal manifestação patológica nos empreendimentos foi a fissuração.

Conhecendo as principais formas de manifestação patológica e com base na bibliografia e nos dados de falhas contidos nos relatórios de acompanhamento de obras para a construção destes tipos de empreendimentos foi formulada a segunda questão secundária. (quais as ferramentas de melhoria da qualidade mais apropriadas na identificação das relações de causa e efeito?). Para responder esta pergunta, mediante uma pesquisa bibliográfica, foram selecionados: o diagrama de causa e efeito, o diagrama de relações e o diagrama de afinidade. Após a identificação das falhas ao longo do processo construtivo e as suas respectivas causas através, da aplicação das ferramentas escolhidas, foi respondida a terceira questão secundária (Como identificar e priorizar as principais causas das manifestações patológicas nos empreendimentos?), através de uma análise dos dados utilizando o FMEA e o diagrama de Pareto.

Com a aplicação do conjunto de ferramentas, pôde-se responder a quarta questão de pesquisa (de que maneira tais ferramentas podem contribuir para a melhoria da qualidade do processo construtivo de alvenaria estrutural dos empreendimentos?). Observou-se que as ferramentas permitiram uma análise mais abrangente das várias causas de falhas ao longo do processo construtivo. A visão multicausal das falhas permitiu observar que o controle de qualidade do processo deve perpassar por todas as etapas do processo construtivo e envolver todos os agentes, evitando assim a atuação de forma fragmentada, que tende a gerar resultados insatisfatórios em relação à qualidade deste tipo de empreendimento.

O produto principal desta dissertação foi a proposta de um método de análise das relações de causa e efeito entre as manifestações patológicas e falhas nos processos construtivos, com a participação de especialistas no tema. O método proposto consiste em uma análise sistemática das relações de causas de falhas no processo construtivo em alvenaria estrutural e os seus respectivos efeitos, mediante a combinação de um conjunto de ferramentas de melhoria da qualidade. Deste conjunto, os diagramas de causa e efeito, de relações e de afinidade serviram para explicitar estas relações de causa e efeito. O FMEA foi utilizado para a análise das falhas, avaliando os riscos das causas mediante a aplicação dos índices de severidade, ocorrência e de detecção. O diagrama de Pareto serviu para identificar as causas de falhas prioritárias tendo em vista as ações de melhorias necessárias. Para atingir este objetivo, o mesmo foi desdobrado em três objetivos específicos (vide item 1.4).

O primeiro objetivo específico refere-se à **análise das principais falhas ao longo do processo construtivo dos empreendimentos habitacionais de baixa renda que podem levar a manifestações patológicas**. Observou-se que os defeitos diagnosticados nos empreendimentos podem ser desdobrados em categorias de causas de falhas (primárias, secundárias e terciárias) quando se aplica o diagrama de causa e efeito, conforme o item 5.3.1. Essa categorização permitiu identificar uma ampla gama de causas da fissuração das paredes, já que, essas causas podem estar relacionadas a falhas nos materiais, falhas de projetos, e a falhas na execução, conjugadas com os mecanismos de formação das fissuras (vide itens 5.3.1 e 5.3.2). A análise das inter-relações entre as causas, mediante a aplicação do mapa de relações de causa e efeito, permitiu entender a complexidade existente nestas relações de causa e efeito. Permitiu observar que a ocorrência das falhas pode estar relacionada a múltiplas causas, ou seja, cada uma das formas de fissura nas paredes pode não ser resultado de uma única causa, mas sim de um conjunto de causas inter-relacionadas, em diferentes níveis de gestão do processo construtivo. Estas causas referem-se tanto a falhas técnicas, incluindo falhas na execução, de projetos e nos materiais, e a falhas gerenciais, incluindo falhas nos controles do processo de produção, no processo de projetos e no dos materiais utilizados.

O segundo objetivo desta pesquisa foi a **identificação dos papéis das diferentes ferramentas de melhoria da qualidade na análise de falhas no processo construtivo em alvenaria estrutural e as suas causas**. De uma forma geral as ferramentas da qualidade utilizadas no estudo mostraram-se úteis para o desdobramento das várias causas possíveis de falhas no processo, tanto em categorias como do ponto de vista multicausal. A

utilização do FMEA permitiu identificar os riscos das principais causas e ponderá-los mediante o uso de três índices (ocorrência, gravidade e detecção). Dessa ponderação foi possível observar que a ordem e o número de causas de falhas a serem priorizados para ações de melhorias foram alterados, em relação à priorização feita com base nas ocorrências identificadas nos relatórios, após a aplicação do diagrama de Pareto em cada um desses casos.

O terceiro e último objetivo foi a **sistematização de um conjunto de recomendações técnicas e de boas práticas para a melhoria do processo construtivo dos empreendimentos habitacionais de baixa renda construídos em alvenaria estrutural a partir das principais causas de falhas identificadas**. O conjunto de recomendações e de boas práticas foi sistematizado com base na aplicação do método proposto, mediante a identificação e a priorização das principais causas de falhas no processo de construção de empreendimentos habitacionais de baixa renda, no Estado do Rio Grande do Sul, executados em alvenaria estrutural (vide itens 5.4. e 5.5). A sistematização das recomendações técnicas tanto na fase de projetos como de execução e algumas ações gerenciais consistiu em organizá-los por elementos e componentes da alvenaria estrutural. As boas práticas foram sistematizadas por componentes ou elementos que compõem a alvenaria estrutural, tendo registrados algumas práticas adotadas pelas empresas construtoras que não foram identificadas na literatura pesquisada.

Também, pode-se constatar através do método proposto, a relação de complexidade (HENDRY, KHALAF, 2001) que existe para diagnosticar as causas mais prováveis para a manifestação de fissuras nos edifícios executados em alvenaria estrutural, pois as mesmas podem ocorrer em várias fases do processo construtivo. A bibliografia pesquisada (GRIMM, 1988; THOMAZ, 1990; DUARTE, 1998) atribui causas de manifestação de fissuras aos movimentos diferenciais (entre outros o recalque de fundações, variação de temperatura, sobrecarga de compressão). Entretanto, pode-se identificar que, além dessas causas, nesse estudo denominadas de mecanismos de falhas, existe essa relação de complexidade envolvendo uma inter-relação de causas em várias fases e níveis do processo construtivo.

Além dessas conclusões, pode-se observar também que o referido método apresenta algumas limitações e o mesmo pode ser melhorado, invertendo a ordem de aplicação do FMEA e do mapa de relações de causa e efeito e estabelecendo medidas de coleta de dados necessários, conforme comentado no item 5.6.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do desenvolvimento da pesquisa, faz-se algumas recomendações para trabalhos futuros

- a) Estudar a implementação das recomendações técnicas e gerenciais e boas práticas identificadas no processo construtivo como medidas preventivas e verificar o seu impacto na melhoria da qualidade dos empreendimentos:
- b) Estudos de qualidade dos empreendimentos habitacionais de baixa renda a serem executados em alvenaria estrutural com a aplicação prévia do FMEA nas fases de projeto e de execução:
- c) Refinar e aplicar o método para uma análise mais aprofundada das causas de falhas de ordem gerenciais, considerando a atuação das empresas e melhorando a coleta dos dados necessários, e
- d) Desenvolvimento de estudos melhorando a coleta de dados para análise da intensidade das manifestações patológicas nos empreendimentos habitacionais de baixa renda executadas em alvenaria estrutural.
- e) Elaborar estudos propondo medidas ou ações a serem providenciadas quando for identificadas não-conformidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCI. Associação Brasileira da Construção Industrializada. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo: Edição ABCI/Projeto/ PW, 1990. 280p.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Práticas recomendadas de alvenaria com blocos de concreto: PR-1, PR-2, PR-3, PR-4 e PR-5**. 2004. Disponível em: www.abcp.org.br

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural– Requisitos**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro, 1993^a.

ALMEIDA, C. A. **Alvenaria Estrutural : Novas Tendências Técnicas e de Mercado**. Rio de Janeiro, 2002

ALMEIDA, D. A., LEAL, F., PINHO, A. F., FAGUNDES, L. D. Gestão do conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação. **Produção**. V. 16, n. 1, p. 171-188, 2006.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no Estado de Pernambuco**. Porto Alegre, 1997. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BAMFORD, D. R., GREATBANKS, R. W. The use of quality management tools and techniques: a study of applications in everyday situations. **International Journal of Quality e Reliability Management**. V. 22, n. 4, p. 376-392, 2003.

BARBOSA, K. C. **Avaliação experimental do fenômeno de retração em alvenarias de blocos de concreto**, São Paulo: 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos.

BASSO, A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. Fissuras em Paredes de alvenaria estrutural sob lajes de cobertura de edifícios. In: Congresso Iberoamericano de Patologias das Construções, 4, 1997, Porto Alegre/RS, **Anais ...** Porto Alegre, LEME/CPGEC, p. 367-375, 1997.

BRASSARD, M., **Qualidade: ferramentas para uma melhoria contínua**. Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, 1993.

CAMACHO, J.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. UNESP: Ilha Solteira, 2006.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte, 1992.

CARVALHO JR, A.N.; ANDERY, P.R.P. Ferramentas de análise de falhas aplicada à execução de obras de edificação. **Congresso Latino-Americano, Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Soluções para o terceiro Milênio**. São Paulo, 1998.

CAVALHEIRO, O. P. **Cálculo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. Santa Maria:UFSM, 2006

COMPONATION, P.; FARRINGTON, A. P. Identification of effective program-solving tolls to support continuous process improvement teams. **Engineering Management Journal**. v. 12 n. 1, 2000.

CROSBY, P.B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1999. 7 ed. Tradução do original Quality is Free (1979). 328p.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado – Análise das manifestações Típicas e Levantamento de Casos no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1988. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DELLARETTI FILHO, O. **As sete ferramentas do planejamento da qualidade**, Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

DEMING, W.E. **Qualidade, a revolução da administração**. Marques Saraiva: São Paulo, 1990.

DEVADASAN, S.R.; MUTHU, S.; SAMSON, R.N.; SANKARAN, R.A. Design of total failure mode and effects analysis programme. **International Journal of Quality & Reliability Management**. V. 20, n.5, p. 551-568, 2003.

DUARTE, R.B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, p.79, 1999.

DUARTE, R.B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre, 1998. CIENTEC – Boletim técnico n.25.

EL-HAIK, B.; ROY D.M. **Service Design for Six Sigma: a road map for excellence**. A Willey-Interscience Publication, New Jersey, 2005.

EL-HARAM, M.A.; HORNER, M.W. Practical application of RCM to local authority: A pilot study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**; vol. 8 N. 2, p. 135-143, 2002.

FERREIRA, E.A.M; DORNELLES, V.P.; ALY, V.L.C; SABBATINI, F.H. Metodologia de controle da qualidade de execução para sistemas construtivos em alvenaria estrutural não armada. **5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries**. Florianópolis, Brasil, 1994.

FIESS, J.R. ;OLIVEIRA, L.A.; BIANCHI, A.C.;THOMAZ, E. **Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do estado de São Paulo**. ENTAC04, São Paulo. 2004.

FONSECA, A.V.M.; MIYAKE, D.I. Formas de classificação para as técnicas e ferramentas da qualidade. **ENESEP**, Fortazela, Brasil, 2006.

FORMOSO, C.T; TZORTZOPOULOS, P. **Gestão da qualidade no processo de projetos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** São Paulo, 1992. 319p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FRANCO, L.S.; AGOPYAN, V. Racionalização de processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. **5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries.** Florianópolis, Brasil, 1994.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, UFMG, 1997.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2005.** Belo Horizonte, 2007. Disponível em <http://www.fjp.gov.br/exibe_subproduto.php?produto=9&unidade=CEI>. Acesso em 21 de set. de 2007.

GARVIN, D.A. **Gerenciando a Qualidade.** Harvard Business School. Rio de Janeiro, 1992. Qualitymark. 3ed. 358p.

GARVIN, D.A. **Competing on eight dimension of quality.** Harvard Business Review, v.65 (6): p.101-109, 1987.

GRIMM, C.T. **Masonry Cracks: Cause, Prevention and Repair.** Masonry International, BMB, v. 10, n.3, p.66-76, 1988.

HANS, J.; JOFFRE, C.; BOILEVE, C.; FIES, B. FMEA software to Enhance Innovation in Building. **CIB world Building Congress.** p. 1430-1441, 2007

HARAM, M.A.E; HORNER, M.W. Practical application of RCM to local authority housing: A pilot study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering;** ABI/INFORM Global p. 135-143, 2002.

HE, Z.; STAPLES, G.; ROSS, M.; COURT, I. Fourteen Japanese quality tools in software process improvement. **The TQM Magazine.** V.8, n.4, p.40-44, 1996.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** Pini, Brasília, 1992.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. **Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA-FTA).** Belo Horizonte. MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

HENDRY, A.W. Masonry walls: materials and construction. **Construction and Building Materials.** p. 323-330, 2001.

HENDRY, A.W.; KHALAF, F.M. **Masonry Walls Construction.** London: Spon Press, 2001.

HOLANDA JÚNIOR, O.G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural.** São Carlos, 2002. 242p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

ISHIKAWA, K. **TQC, Total Quality Control: estratégia e administração da qualidade.** São Paulo: IMC, 1986.

IOPPI, P.R; ARRUDA,H.C: **Patologias de alvenaria estrutural de tijolo cerâmico aparente e manifestações identificadas em edificações na cidade de Florianópolis: Diagnóstico, terapia e prevenção.** 5th International seminar on structural masonry for developing countries . Florianopolis. 1994.

JOSEPHSON, P.E.; HAMMARLUND, Y. The causes and costs of defects in construction: A study of seven building projects. **Automation in Construction** 8, Sweden, 1999

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. **Controle da qualidade handbook.** São Paulo: Makron Books-McGraw-Hill, 1991. v.1.

KARUPPUSAMI,G.; GANDHINATHAN, R. Pareto analysis of critical success factors of total quality management. **The TQM Magazine**, India, Vol. 18, p. 372-385, 2006

KLEIN, D.L;KLEIN,G.M.B; LIMA, R. C. A. **II Seminário de Patologia das Edificações - Novos Materiais e Tecnologias Emergentes.** Porto Alegre, 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade.** Editora Gente, São Paulo, 1993

LAFARIA J.R.B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro, 2001. Qualitymark. 374p.

LORDÊLO, P. M., MELHADO, S. B. **As empresas construtoras de edifícios e a ISO 9001: 2000.** Boletim técnico, USP, São Paulo, 2005

MAGALHÃES, E. F. **Fissuras em alvenaria estrutural: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2004. Mestrado Profissionalizante. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAMEDE, F.C.; CORRÊA, M.R.S. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 8, n. 33, p. 1-27, 2006.

MÁRQUEZ, A. C., HERGUEDAS, A. S. Learning about failure root causes through maintenance records analysis. **Journal of Quality Maintenance Engineering**, v. 10, n. 4, p. 254 –262 , 2004.

McQUATER, R.E.; SCURR, C.H.; DALE, B.G.; HILLMAN, P.G. Using quality tolls and techiques successfully. **The TQM Magazine.** V. 7, n. 6, p. 37-42, 1995.

MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** São Paulo: 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica de São Paulo

MENDES, A. V. T., PICCHI, F. A. Avaliação de implantação de sistemas evolutivos de gestão da qualidade: estudo exploratório em construtoras do estado do Piauí. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção – IV SIBRAGEC, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005.

MIZUNO, S. **Gerência para melhoria da qualidade: as sete novas ferramentas de controle da qualidade.** .Rio de Janeiro, Editora LTC, 1979, 312p.

OBATA, S.H.; SOUZA, U.E.L. **Características geométricas relevantes para controle da qualidade dos produtos moldados de concreto armado**. Boletim técnico, USP, São Paulo, 2001.

OHASHI, E.A.M., FRANCO, L.S. **Fluxo de informação no processo de projeto em alvenaria estrutural**. São Paulo: USP, Boletim técnico. 27p. 2001.

OKES, D. Organize Your Quality Toll Belt: These quality tolls can help you understand, analyse and improve you organization's processes. **Quality Progress**, v. 35, n. 7, p. 25-29, 2002.

OZTAS, A.; GUZELSOYB, S.; TEKINKUS, M. Development of quality matrix to measure the effectiveness of quality management systems in Turkish construction industry. **Building and Environment**, Turkey, p. 1219-1228, 2005.

PALADINI, E. P., **Gestão da qualidade: teoria e prática**, São Paulo, editora Atlas S.A., 2000.

PARSEKIAN, G. A., FURLAN JUNIOR, S. **Compatibilização de projetos de alvenaria estrutural**. III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção III SIBRAGEC, São Paulo, 2003.

PARSEKIAN, G. A.; DEANA, D.F.; BARBOSA, K.C.; INFORSATO, T.B. Retração em alvenaria estrutural. **Revista Técnica** n. 119, p.52- 55, 2007.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. Santa Maria: 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria.

PENTEADO, A.F. **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. Campinas, São Paulo: 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas

PICCHI, F. A. **Sistemas de Qualidade: uso em empresas de construção**. 1993. 217p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP.

PICCHI, F.A.; AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade na construção de edifícios**. Boletim técnico, USP, São Paulo, 1993.

PLESK, P.E. Techniques for managing quality. **Hospital & Health Services Administration**. V. 40 n. 1, 1995

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo, Pini. 2003.

RAUSAND, M.; OIEN, K. The basic concepts of failure analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, Northern Ireland, 1996.

REIS, P. F.; MELHADO, S. B. Implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas de construção de edifícios: análise e sugestões quanto aos fatores críticos para a qualidade do processo construtivo. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – VII ENTAC, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

REEVES, C. A.; BEDNAR, D. A. Defining Quality: Alternatives and implications. **Academy of Management Review**. V. 19, n. 3, p. 419-445, 1994.

RICHTER,C.; FORMOSO, C.T., MASUERO, A.B. **Análise de manifestações patológicas de alvenaria estrutural em empreendimentos habitacionais de baixa renda.** Florianópolis. ENTAC 2006

RICHTER,C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade.** Porto Alegre: 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do rio Grande do Sul.

ROMAN, H. R.; MUTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural.** Florianópolis: Ed da UFSC, 1999

SABBATINI, F.H. **Alvenaria Estrutural - Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: requisitos e critérios mínimos a serem adotados para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Económica Federal.** Caixa Económica Federal, Diretoria de Parceiros e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Março, 2003.

SAHLIN, S. **Structural masonry.** NJ: Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 289p. 1974.

SANTOS, L.A. **Diretrizes para elaboração de planos de qualidade em empreendimentos da construção civil.** São Paulo, 2003. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Construção civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTOS, F.A. **Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural.** Florianópolis, 2001. 154p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, N.A. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos** Santa Maria, 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, RS.

SHARMA, R.K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. **The International Journal of Quality & Reliability Management**, India, p. 986- 1004, 2005.

SIGNOR, R. **Desenvolvimento de uma ferramenta para avaliação da confiabilidade de prédios estruturados em alvenaria.** Florianópolis: 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.

SENOL, S. Poisson Process Approach to Determine the Occurrence Degree in Failure Mode and effects Reliability Analysis. **The Quality Management Journal**, Turkey, v.14, p. 29-40, 2007.

SINHA, B.P. **Development and potencial of structural masonry.** Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B.Ed. Lourenço & H. Sousa. Porto, 2002.

SOMMERVILLE, J. Defects and rework in new build: an analysis of the phenomenon and drivers. **Structural Survey**. Vol. 25 No. 5, p. 391-407, 2007

SOUSA, R.; VOSS, C. Quality management re-visited: a reflective review and agenda for future research. **Journal of operations management**, v. 20, n.1, 2002.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Sistema de Gestão da Qualidade Para Empresas Construtoras**, Sinduscon SP. São Paulo, PINI, 1995.

SOUZA, R. Qualidade na cadeia produtiva da construção no Brasil. **IV Seminário Ibero-Americano da rede CYTED. XIV.C**, 13 p, 2003.

SOUZA, R.; ABIKO, A. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. Boletim técnico, USP, São Paulo, 1997.

SPENGLER, A.; STANTON, M.; ROWLANDS, H. Expert Systems Quality Tools for Quality Improvement. **Mechatronics Research Centre**, University of Wales College. P. 955-962, 1999.

SUKSTER, R. **A Integração Entre o Sistema de Gestão da Qualidade e o Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**, Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do sul.

TAN, C.M. Customer-focused build-in reliability: A case study. **The International Journal of Quality & Reliability Management**. Singapore, P.378 – 397, 2002.

TAVARES JUNIOR, W. **Desenvolvimento de um modelo para compatibilização das interfaces entre especialidades do projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina

TENG, G.S.; HO, M.S. Failure mode and effects analysis, An integrated approach for product design and process control. **International Journal of Quality & Reliability Management**. V. 13, n. 5, p. 8-26, 1996.

THOMAZ, E. **Trincas em Edificações: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, Escola politécnica da USP: IPT 1989.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/252. São Paulo, 2000.

VANNI, C.M.K.; GOMES, A.M.; ANDERY, P.R.P. Análise de falhas aplicada à compatibilização de projetos em uma obra predial. **Congresso Latino-Americano. Tencologia e Gestão na Produção de Edifícios. Soluções para o Terceiro Milênio**. São Paulo, 1998

VITALÓ, R. R.; FRANCO, L.S. Estudo da metodologia do projeto para edifícios em alvenaria estrutural não armada. **Congresso Latino-Americano. Tencologia e Gestão na Produção de Edifícios. Soluções para o Terceiro Milênio**. São Paulo, 1998.

VITALÓ, R. R.; FRANCO, L.S. **As Juntas de Movimentação na Alvenaria Estrutural**. São Paulo: USP, Boletim técnico. 15p. 1998.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte. MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte. MG: Editora DG, 1995

YIN, R.K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. São Paulo: Bookman, 2005